

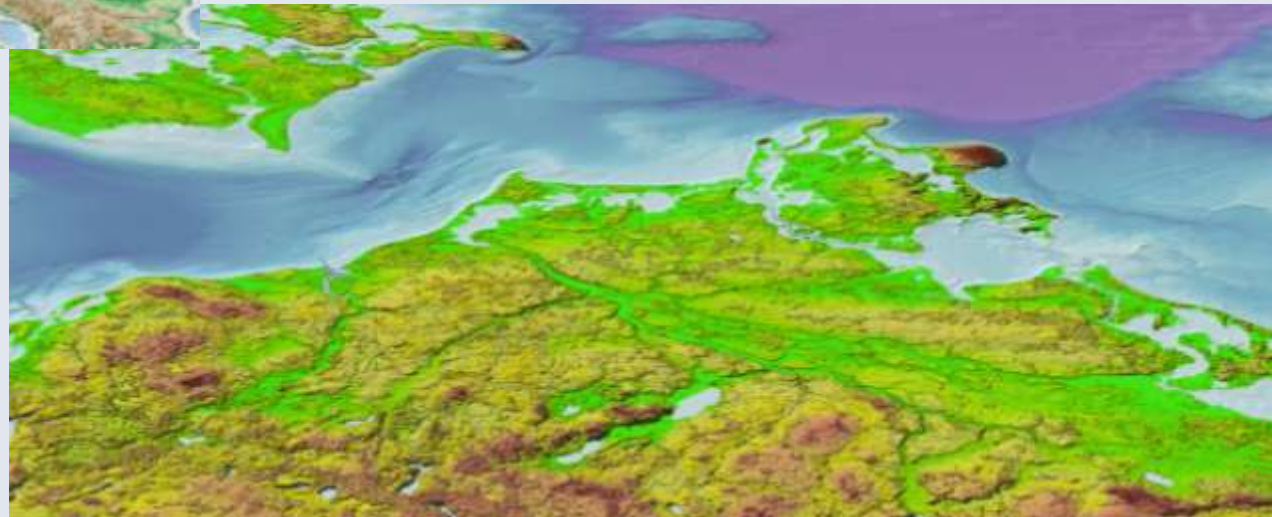
Ein virtueller Gang am Meeresboden der Ostsee und was er uns über das Ökosystem verrät



*Schwellen, Becken und
wie sie die Ostsee
beeinflussen*

Gregor Rehder

IOW



Die Ostsee

Die Ostsee ist eines der größten **Brackwassersysteme** der Erde. Der **Salzwassereintrag** ist entlang des Profils der Ostsee durch mehrere Schwellen **gehemmt**. Gleichzeitig fließen über das Einzugsgebiet **große Mengen Süßwasser und Nährstoffe** in die Ostsee, relativ **wenige** davon **aus Deutschland**. Die zentralen Becken der Ostsee neigen dazu, an **Sauerstoff verarmt** zu sein. Durch den vermehrten Eintrag von Nährstoffen wird dieser Effekt noch verstärkt (**Eutrophierung**). Obwohl über die **Zuläufe** eigentlich ein **Überschuß** an **Stickstoff** in die Ostsee gelangt, ist die zentrale Ostsee an **Stickstoff verarmt** (gegenüber dem anderen wichtigen Nährstoff Phosphor). Dies ist der Grund für die sich ausbreitenden, teilweise toxischen **Blualgenblüten** in der **zentralen Ostsee**.

Übersicht I

- Die Ostsee gehört zum Kontinent
- Das Relief der Ostseeumgebung, Meeresspiegel und Hebung führten zu mehreren Süßwasser-Salzwasserstadien seit Ende der letzten Eiszeit
- Einzugsgebiet und Nährstoffeinträge
- Schwellen, Rinnen und Becken – der Weg des Salzwassers in die Ostsee

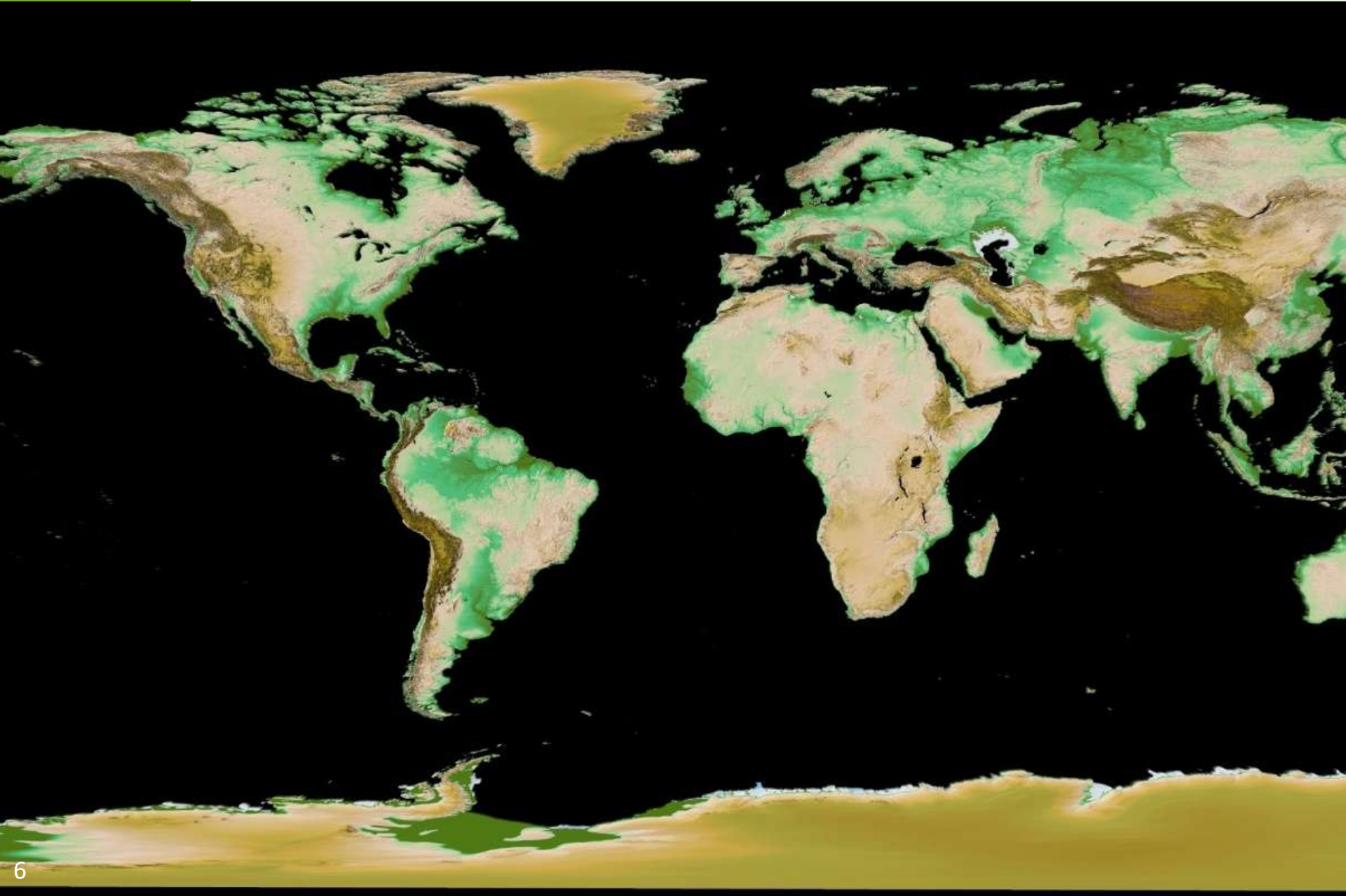
Übersicht II

Folgen

- Salzgehaltsgradient und Schichtung
- Sauerstoffverarmung im Tiefenwasser
- Das Verhältnis von Stickstoff und Phosphor
- Blaualgenblüte im Sommer

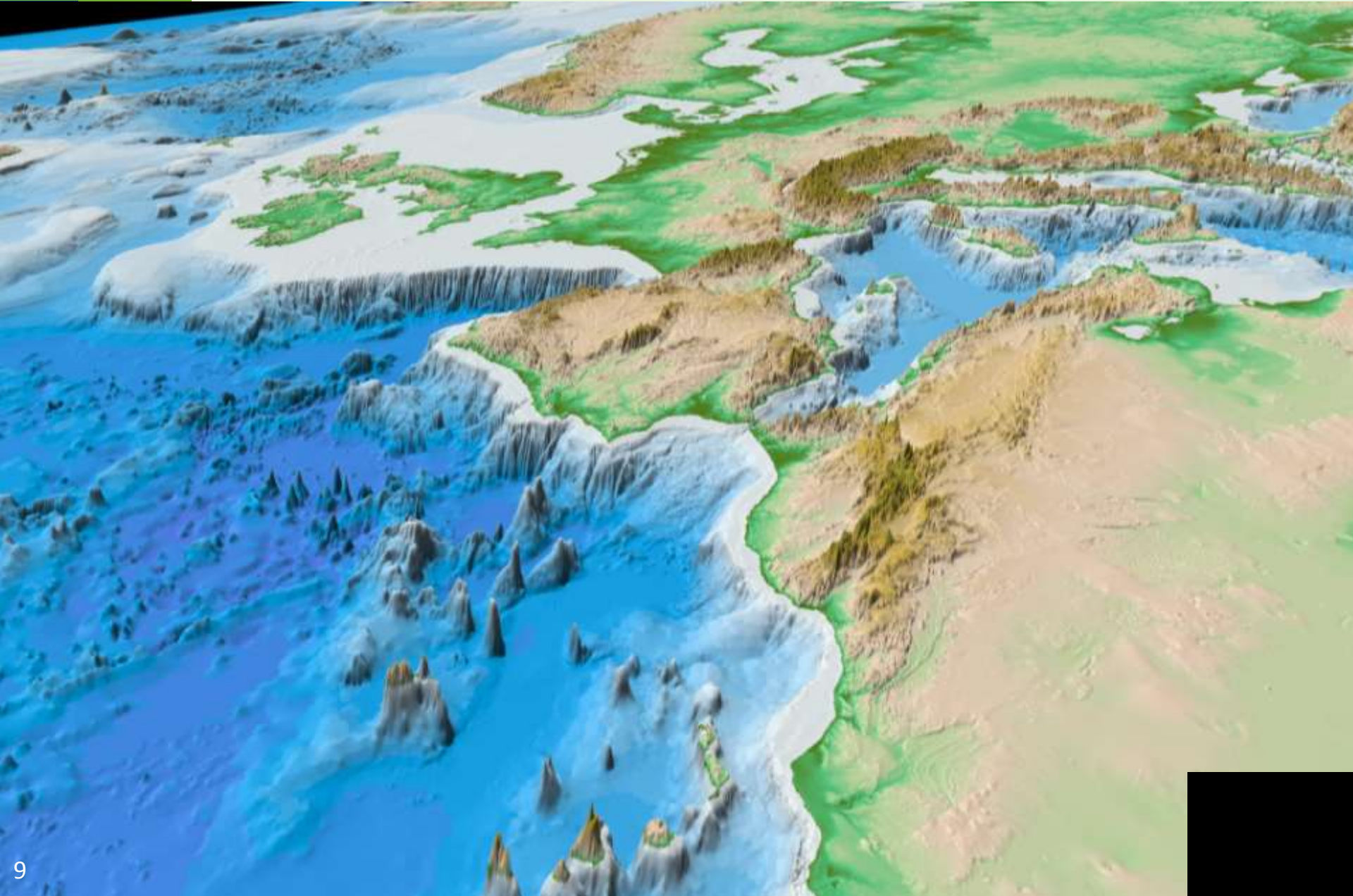
Zoom In

- Die Ostsee gehört zum Kontinent
- Vom Diercke Weltatlas zum europäischen Festlandsockel in 3D









Ostsee

Fläche: 412.500 km²

Volumen: 21.600 km³

Mittlere Tiefe: 52 m

Maximale Tiefe: 460 m

(Landsort Tief)

Flußwasserzufuhr: 440 km³/Jahr

Nied.-Überschuß: 40 km³/Jahr

Süßwasserbilanz: 480 km³/Jahr

Salzwassereinstrom ~ 500 km³/Jahr

stark variabel

Geringer Salzgehalt: 7-8 g/kg

an der Oberfläche

Brackwassergebiet

Einzugsgebiet: 1.669.500 km²

Nordsee

Fläche: 575.000 km²

Volumen: 41.000 km³

Mittlere Tiefe: 71 m

Maximale Tiefe: 710 m

(Norwegische Rinne)

Flußwasserzufuhr: 370 km³/Jahr

Nied.-Überschuß: 210 km³/Jahr

Frischwasseranteil

aus Ostsee: ~500 km³/yr

Süßwasserbilanz: 1080 km³/Jahr

Salzwassereinstrom 56.500 km³/Jahr

90% nördlich, ~ 10% engl. Kanal

Salzgehalt ähnlich dem des Ozeans

Marines System

Einzugsgebiet: 842.000 km²

Meer oder See? – eine Frage des Zeitpunkts

- Die Ostsee gehört zum Kontinent
- In der letzten Eiszeit war sie größtenteils mit Gletschern überzogen
- Abbau der Gletscher und Meeresspiegelanstieg bedingen die wechselhafte Geschichte der Ostsee in den letzten ~13.000 Jahren

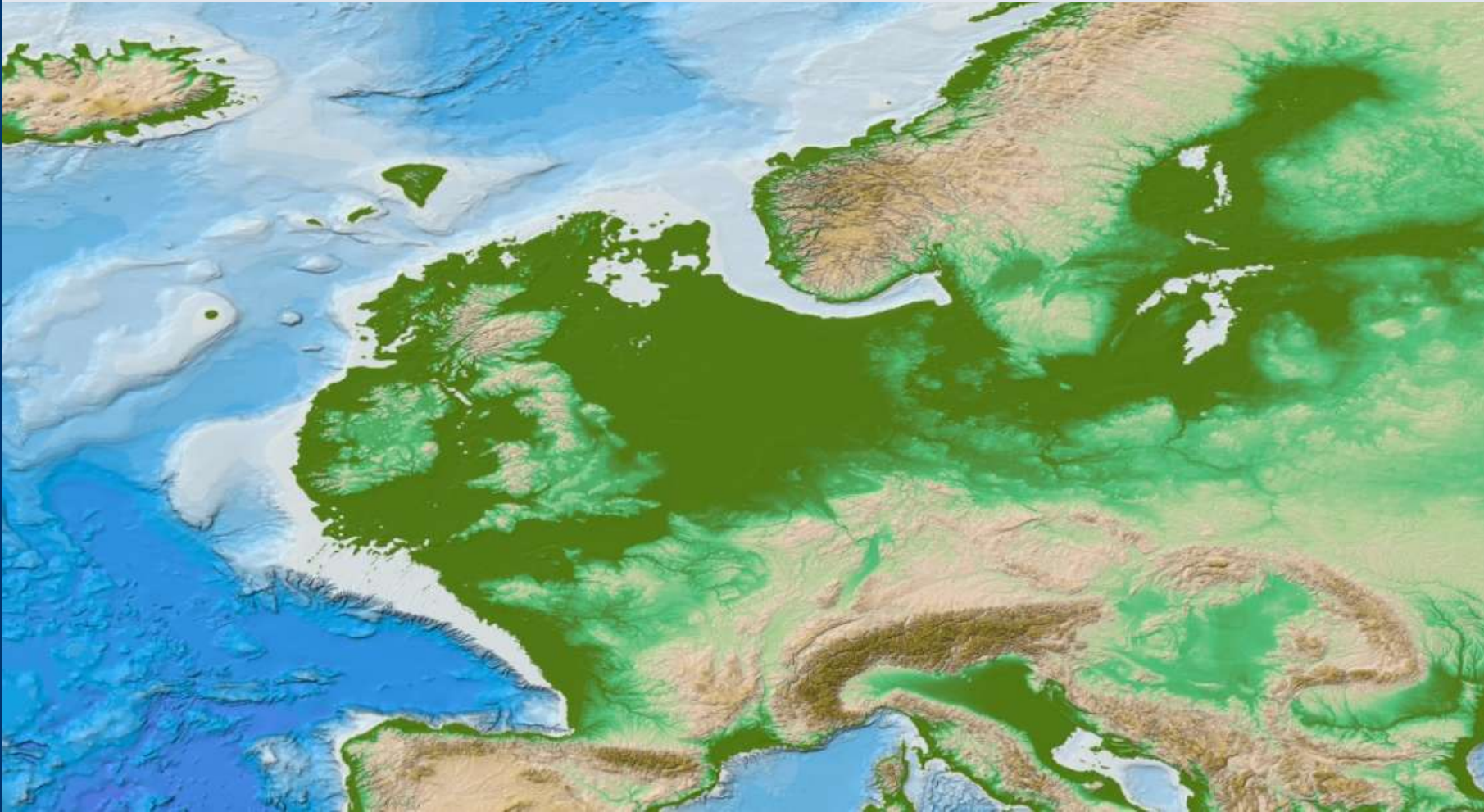
„Unter **Meer** versteht man im Hochdeutschen die miteinander verbundenen Gewässer der Erde, die die Kontinente umgeben, im Gegensatz zu den auf Landflächen liegenden Binnengewässern.

Im Niederdeutschen (und ebenso im Niederländischen) sind demgegenüber die Wortbedeutungen von „Meer“ und „See“ vertauscht: die an Norddeutschland angrenzenden Meere heißen Nordsee und Ostsee (**die See**); im Landesinneren liegen dagegen z. B. das Steinhuder Meer, das Zwischenahner Meer, das Große Meer und andere; in den Niederlanden wurde die Zuiderzee nach ihrer Eindeichung in IJsselmeer umbenannt.“

Aus Wikipedia



Meeresspiegel: heute



Meeresspiegel: heute – 120 m



Baltic Ice Lake

13 000 BP (before present)



Yoldia Sea

11 000 BP



Ancylus Lake

10 000 BP



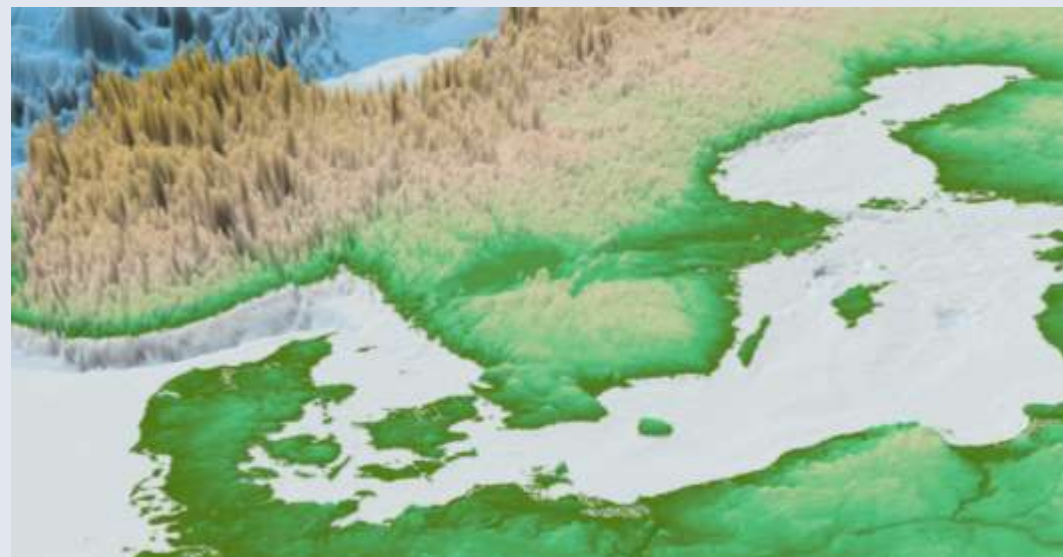
Littorina Sea

8 000 BP

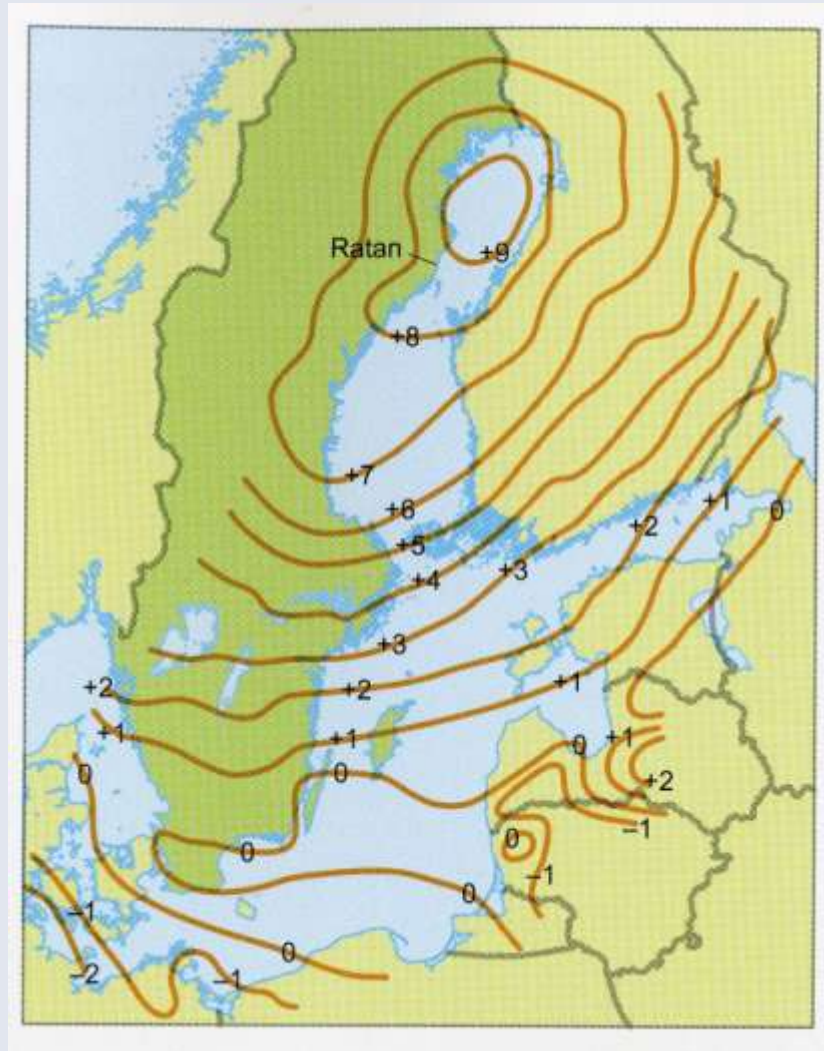


Baltic Sea

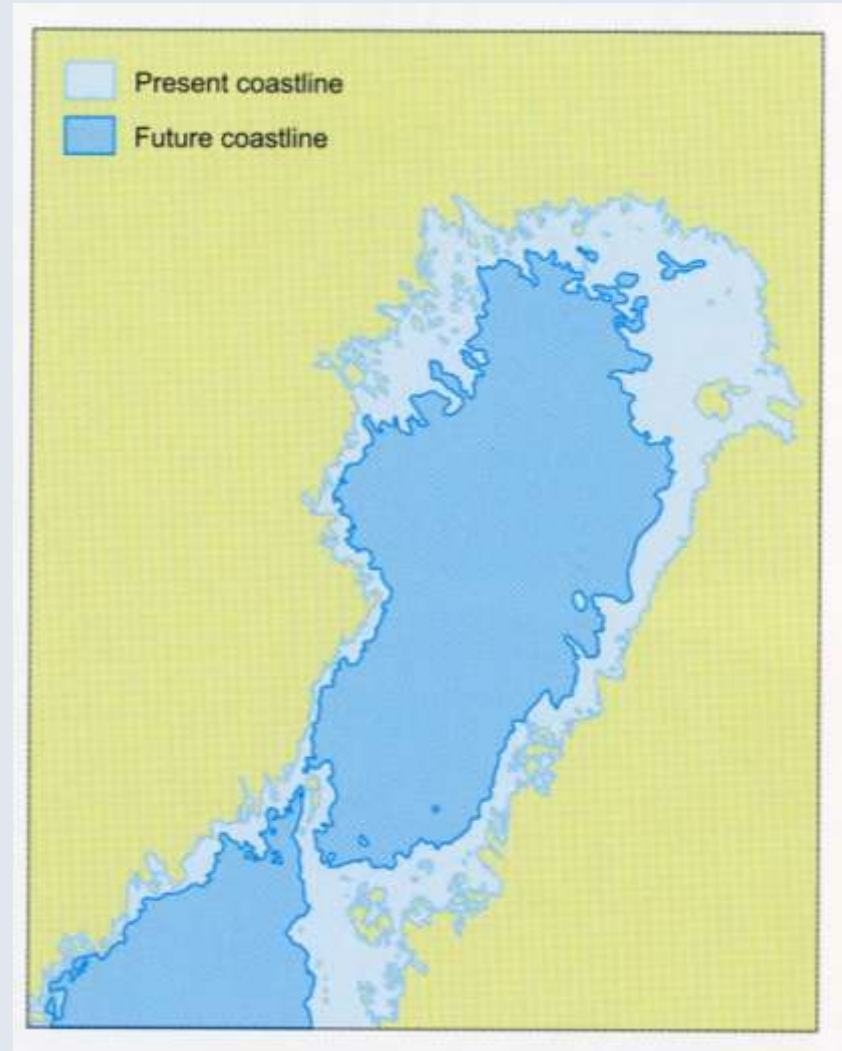
Present day



Und heute?



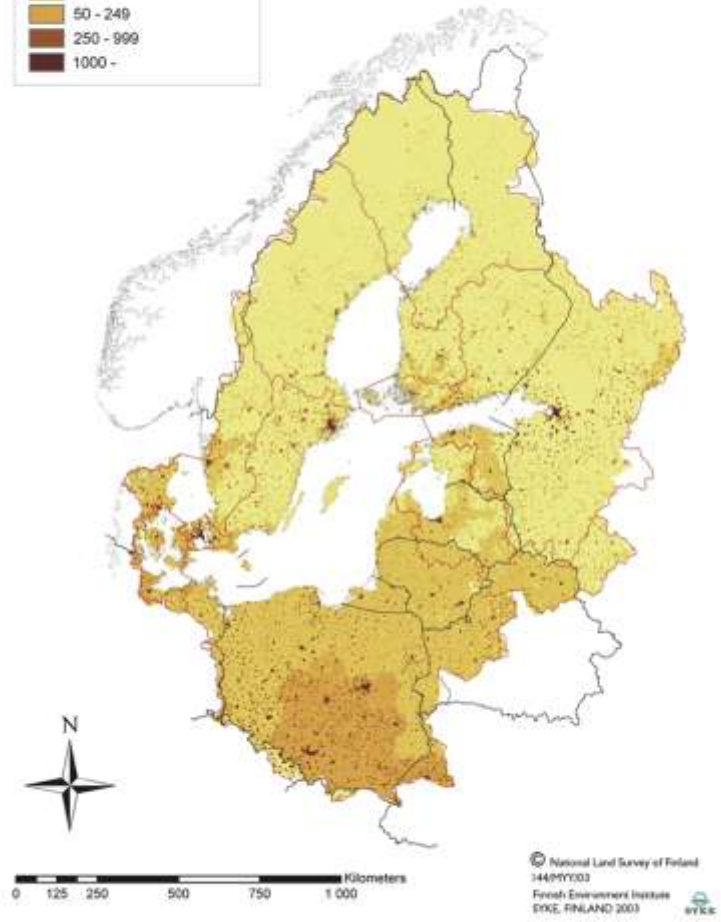
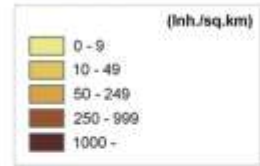
Und in Zukunft?



- # Woher kommt der Eintrag von Land
- ## – eine Frage der Topographie
- Das Einzugsgebiet der Ostsee doppelt so groß wie das der Nordsee
 - Das große, dicht besiedelte Einzugsgebiet führt zu immensen Einträgen an Stickstoff und Phosphor
 - Deutschlands Einträge in die Ostsee sind gering, was am geringen Einzugsgebiet liegt

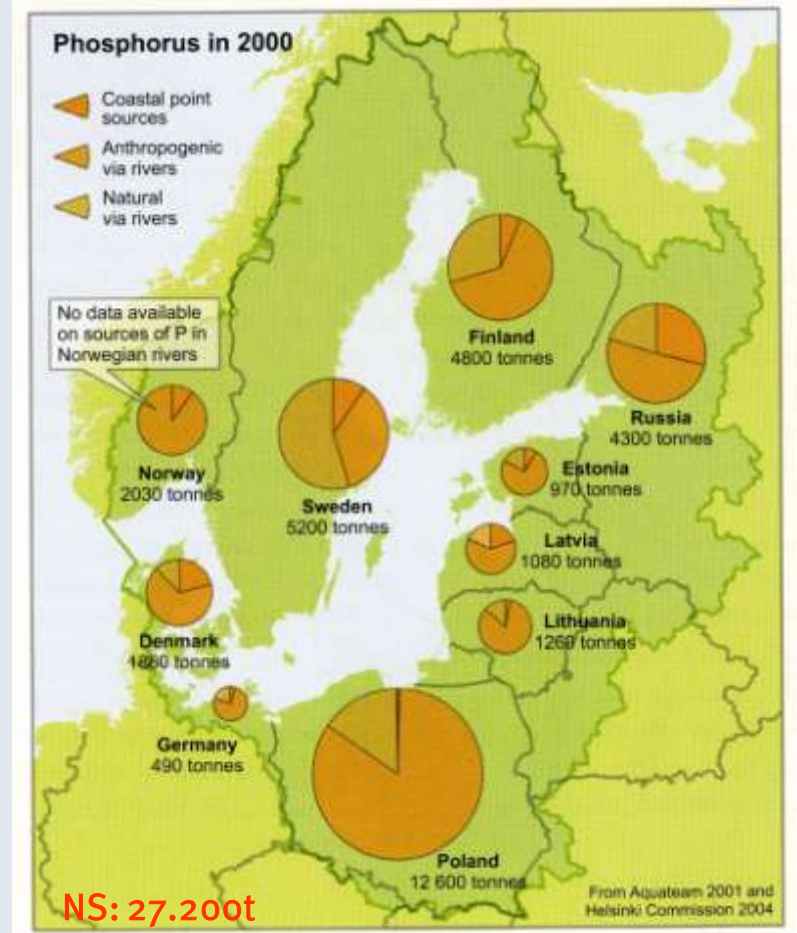
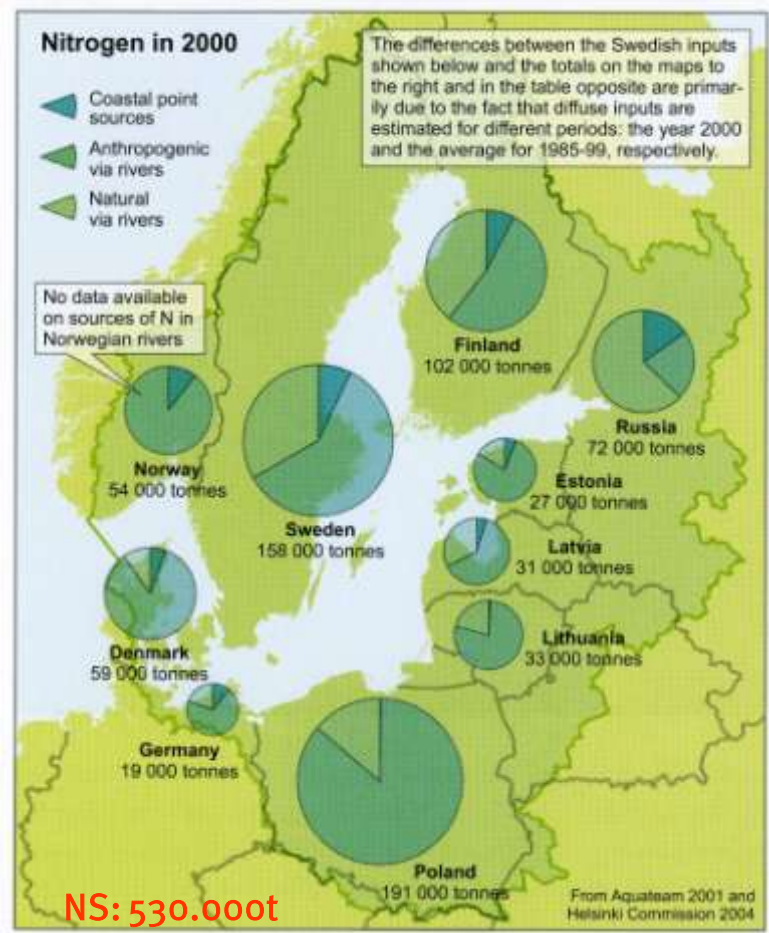


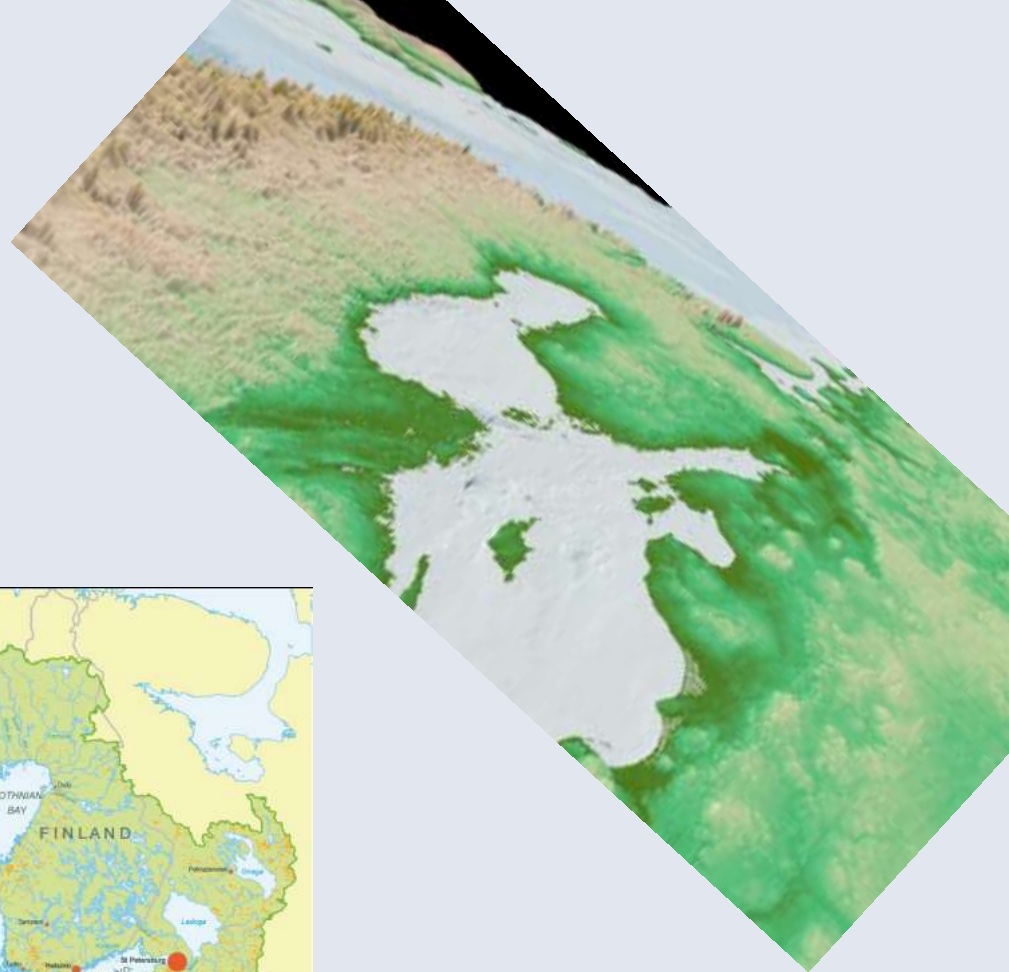
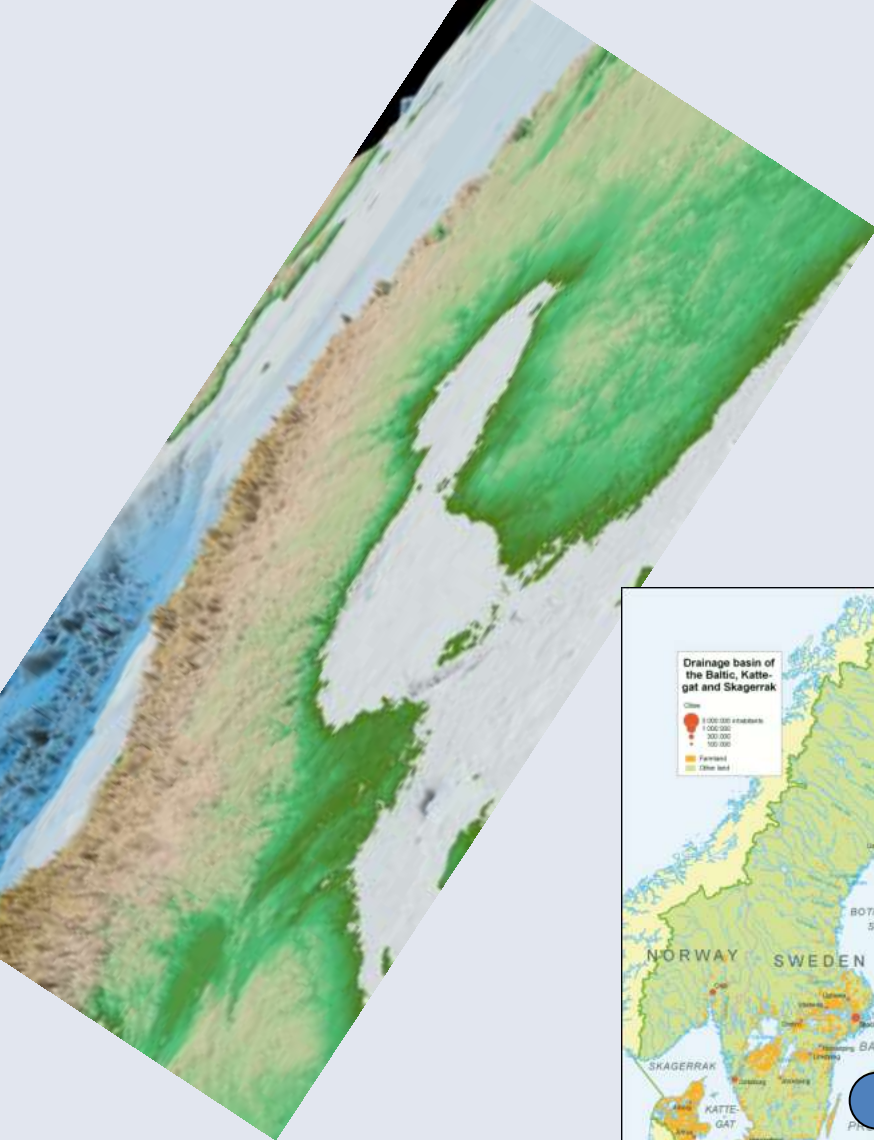
Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet der Ostsee

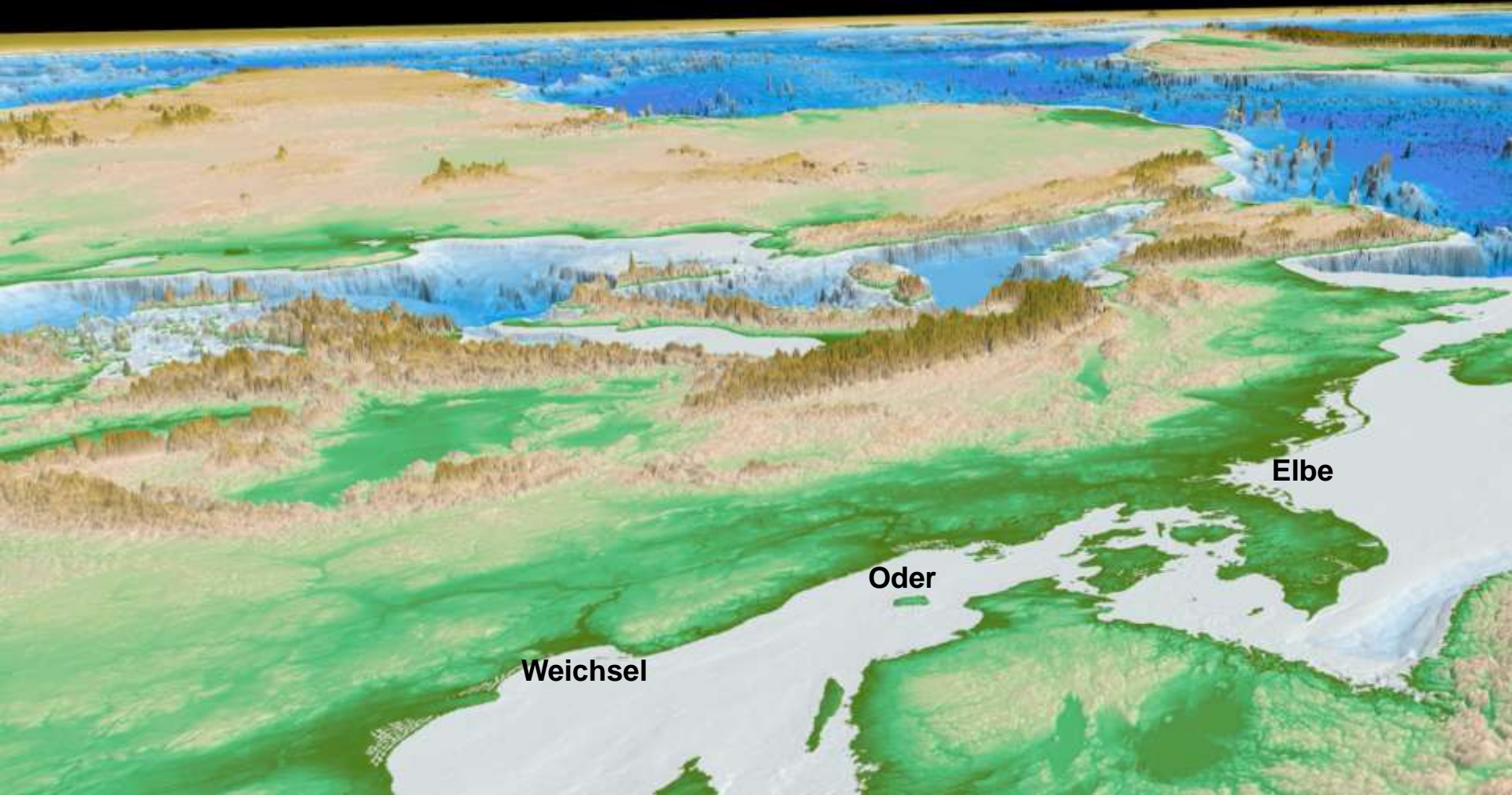


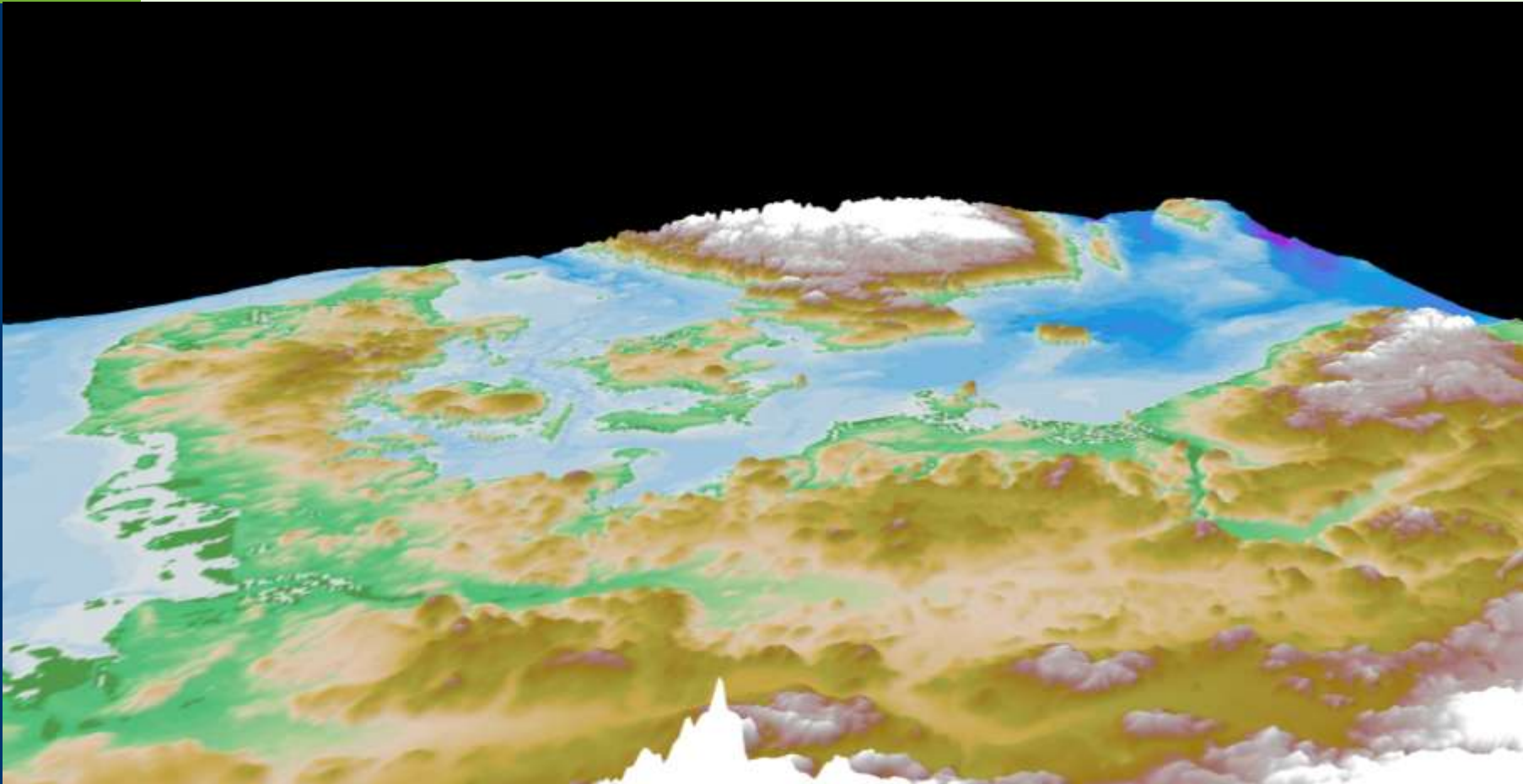
Map production by Beijer Institute of Ecological Economics, UNEP, GRID Arendal and Systems Ecology, Stockholm, University

Quelle: Helsinki-Kommission 2004 – Helsinki Commission, Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-4), Baltic Sea Environment Proceedings no. 93, 2004





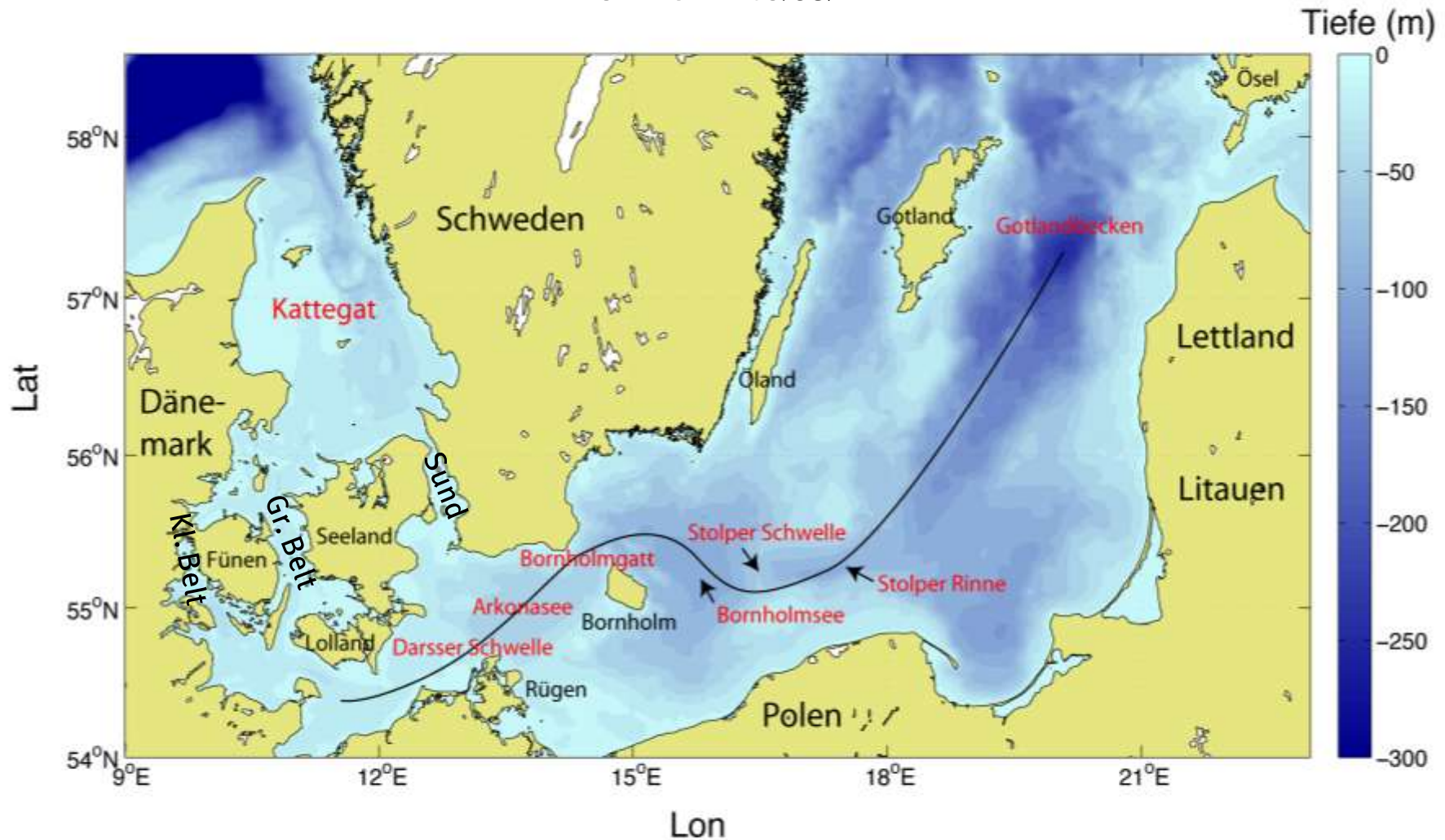


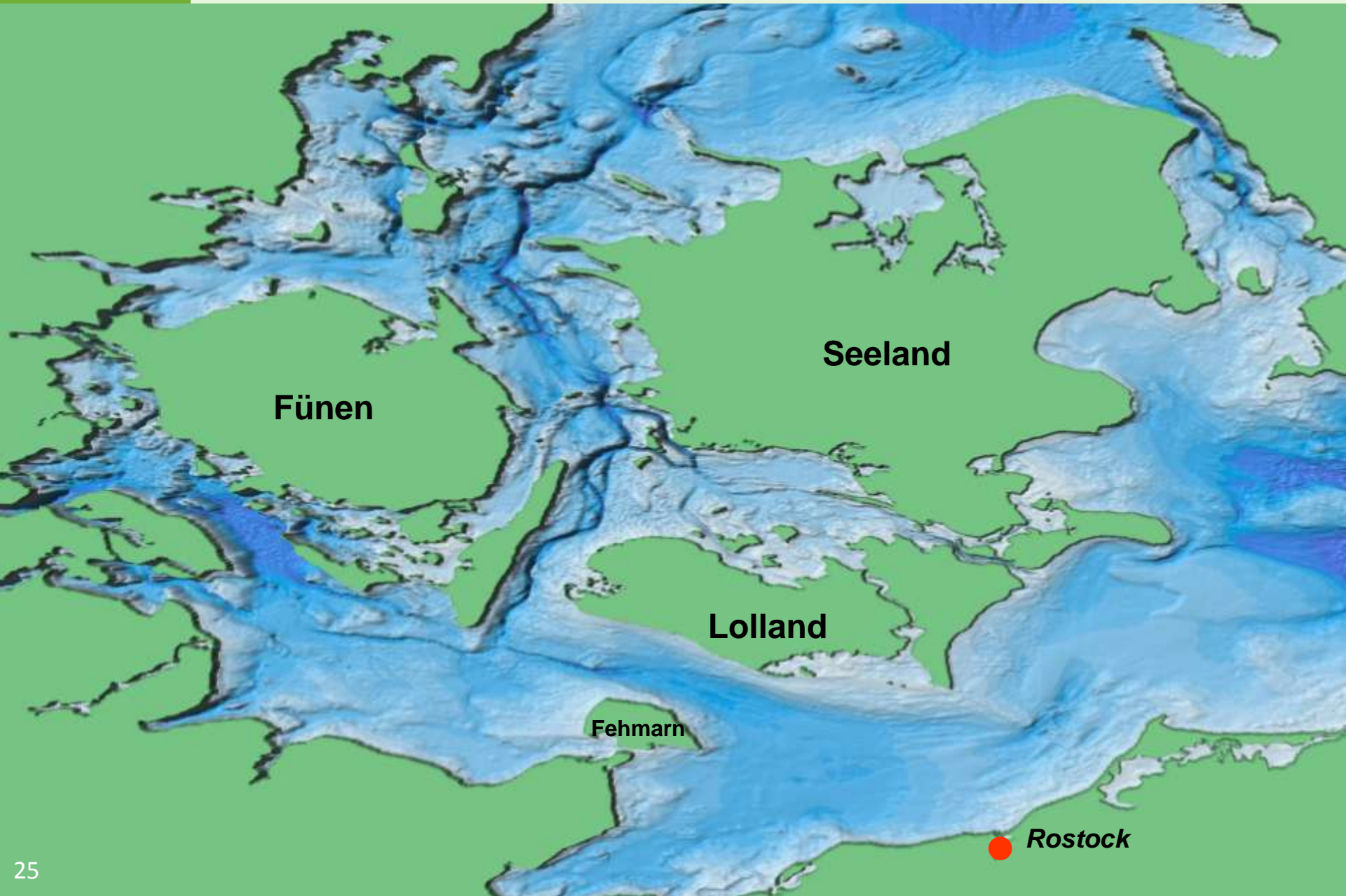


Der Weg des Salzwasser in die Ostsee

- Der Weg von salzhaltigem Wasser ist durch Schwellen und Engen erschwert
- Der Verbleib der dichteren salzhaltigen Wassermassen ist durch die Beckenstruktur der Ostsee beeinflusst.

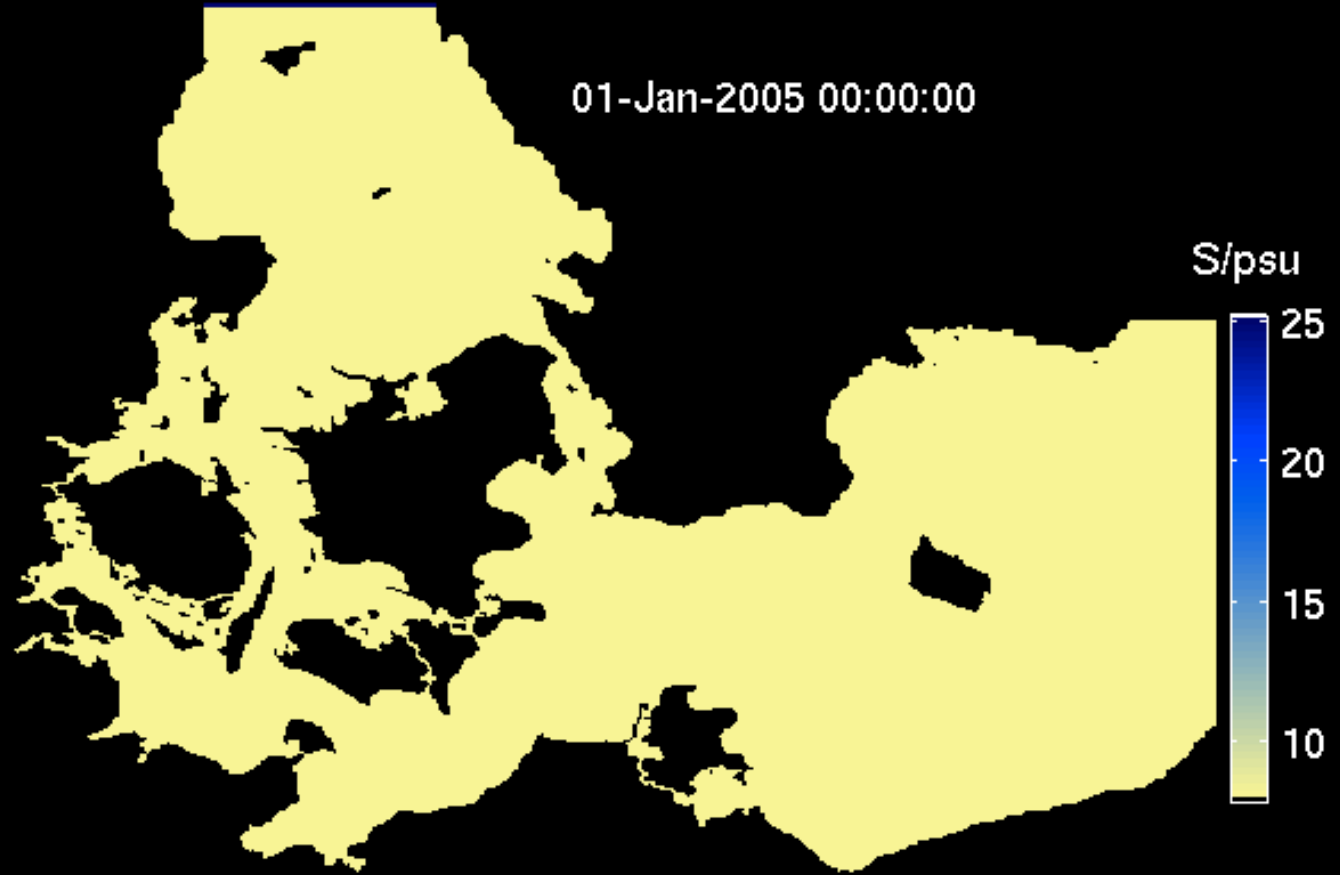
Nomenklatur

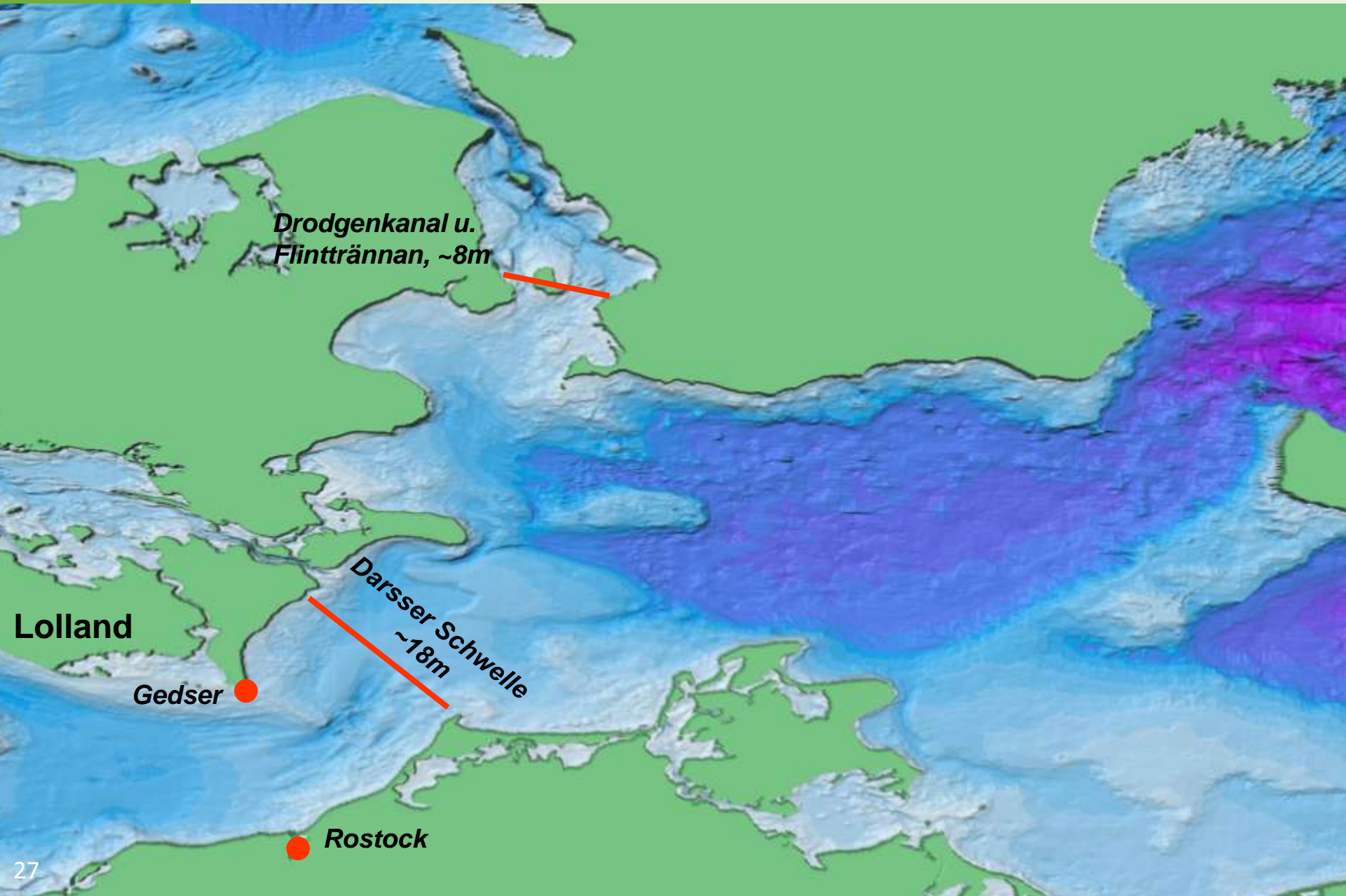




bottom salinity

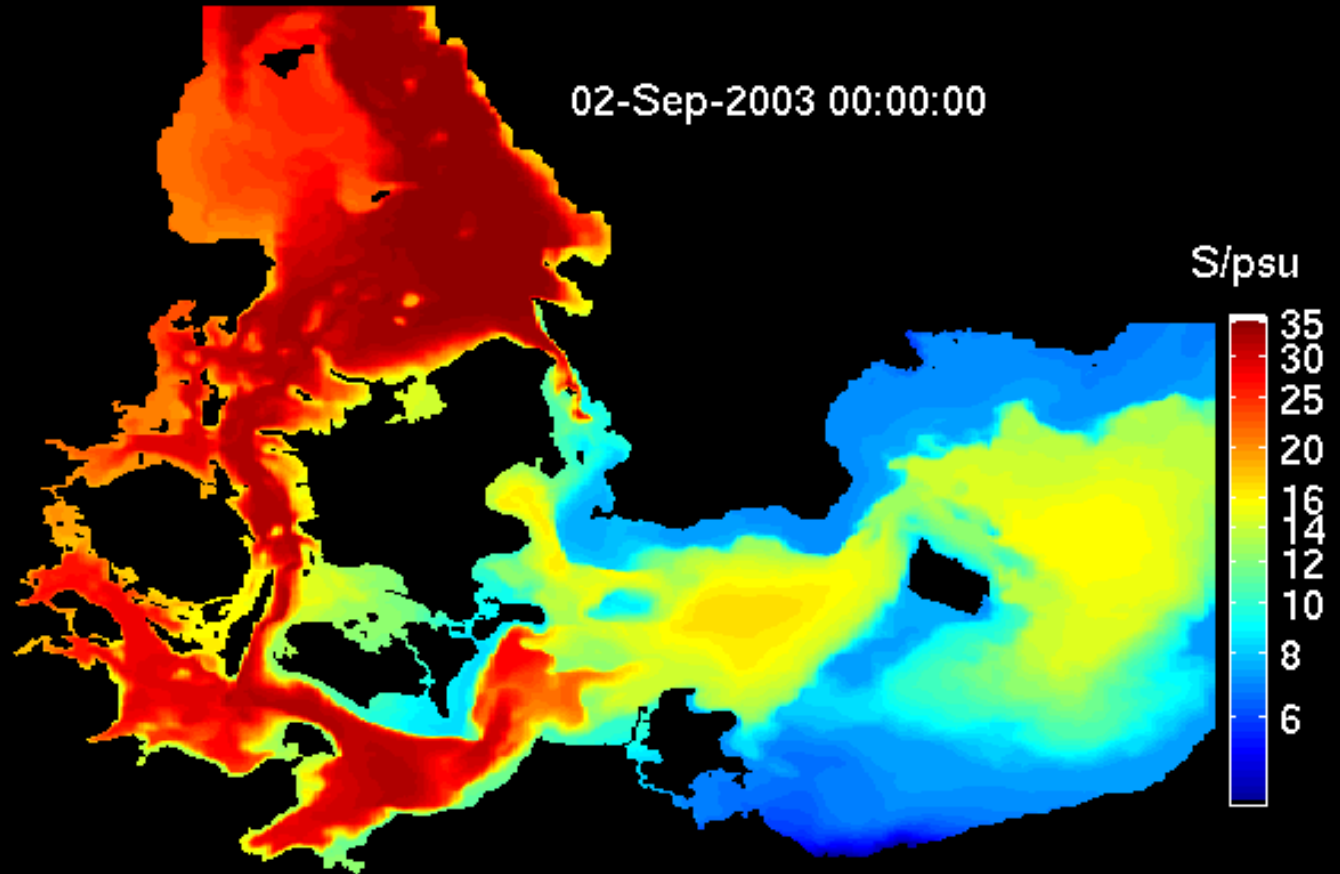
01-Jan-2005 00:00:00

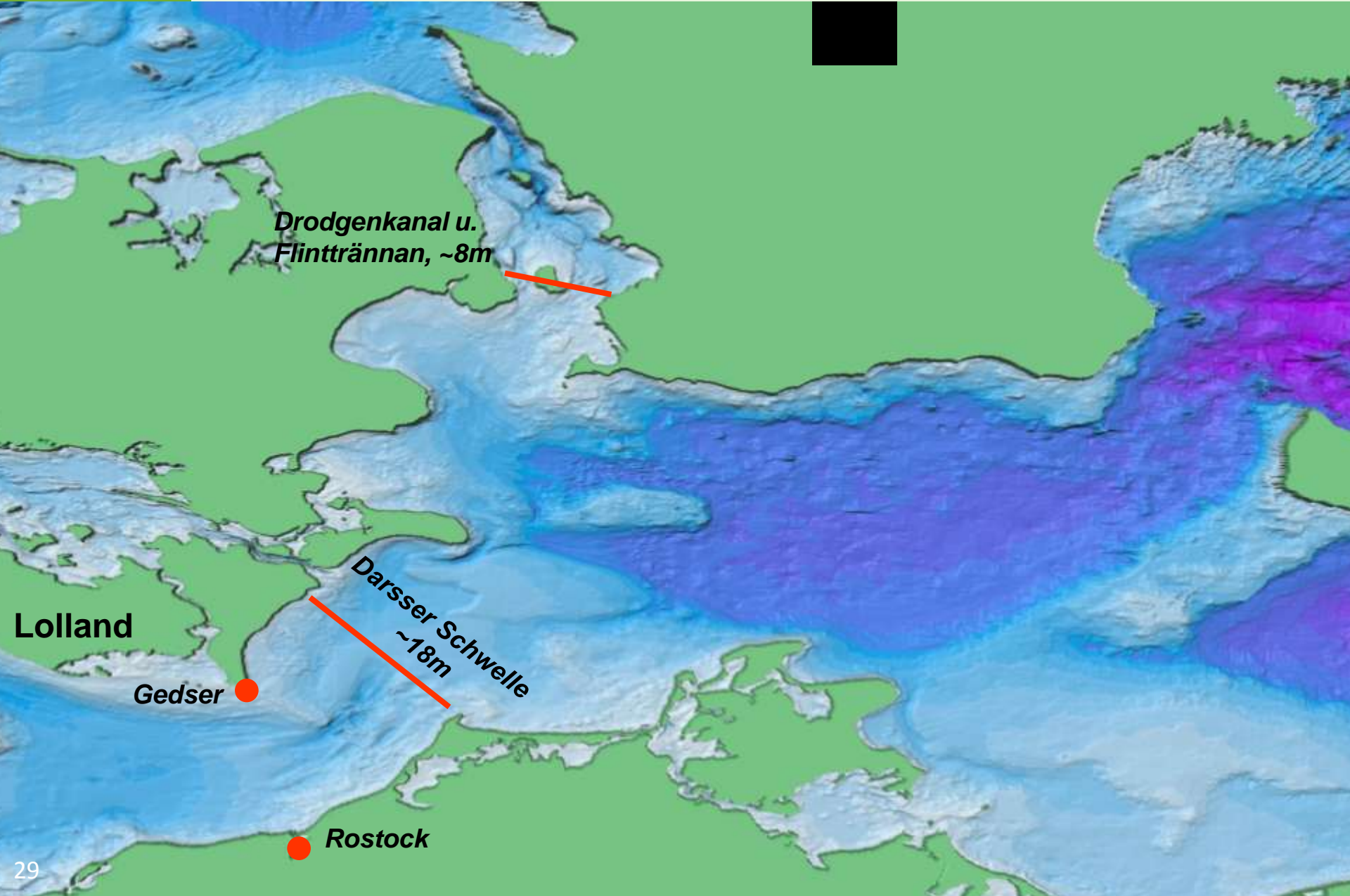




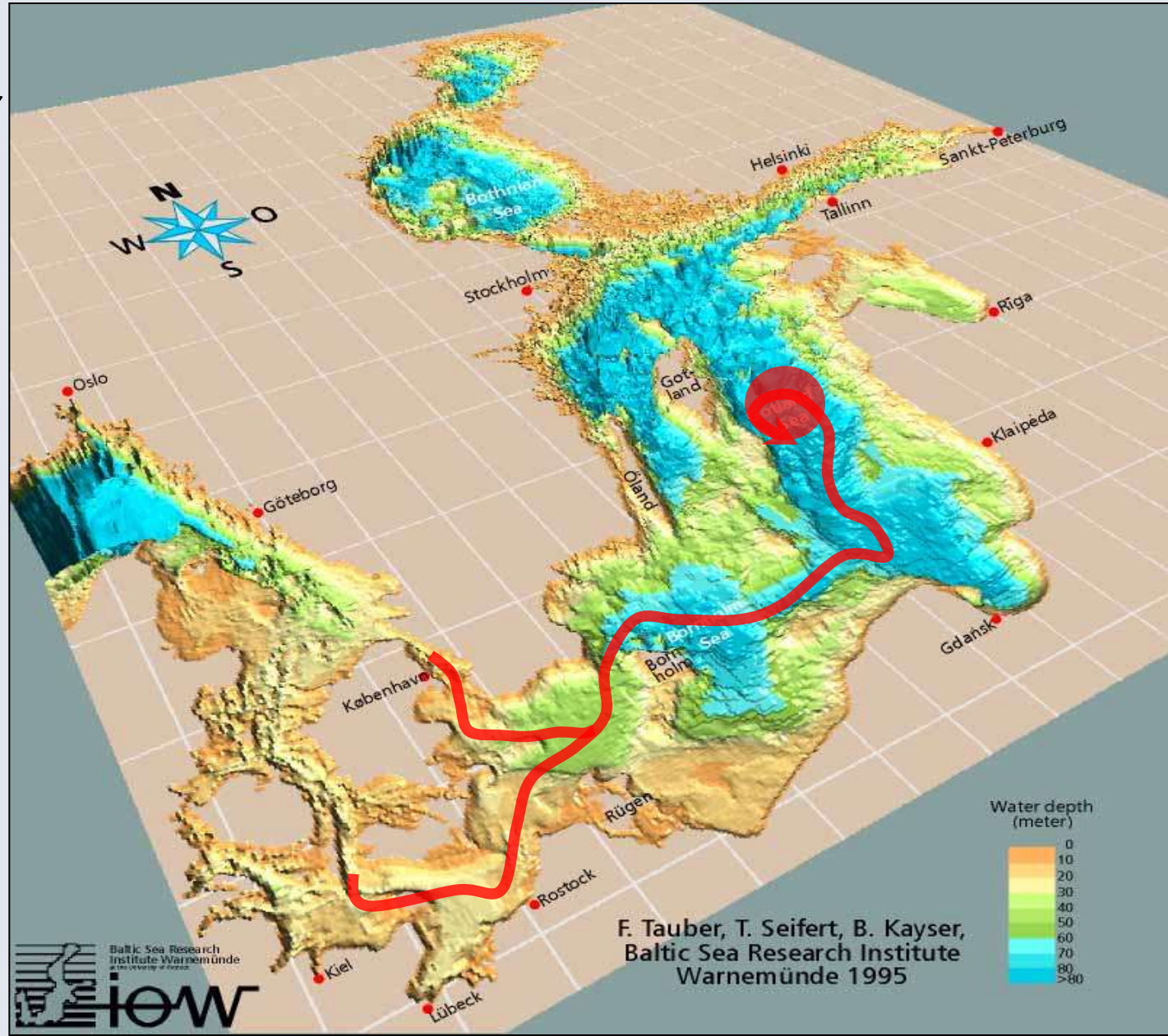
bottom salinity

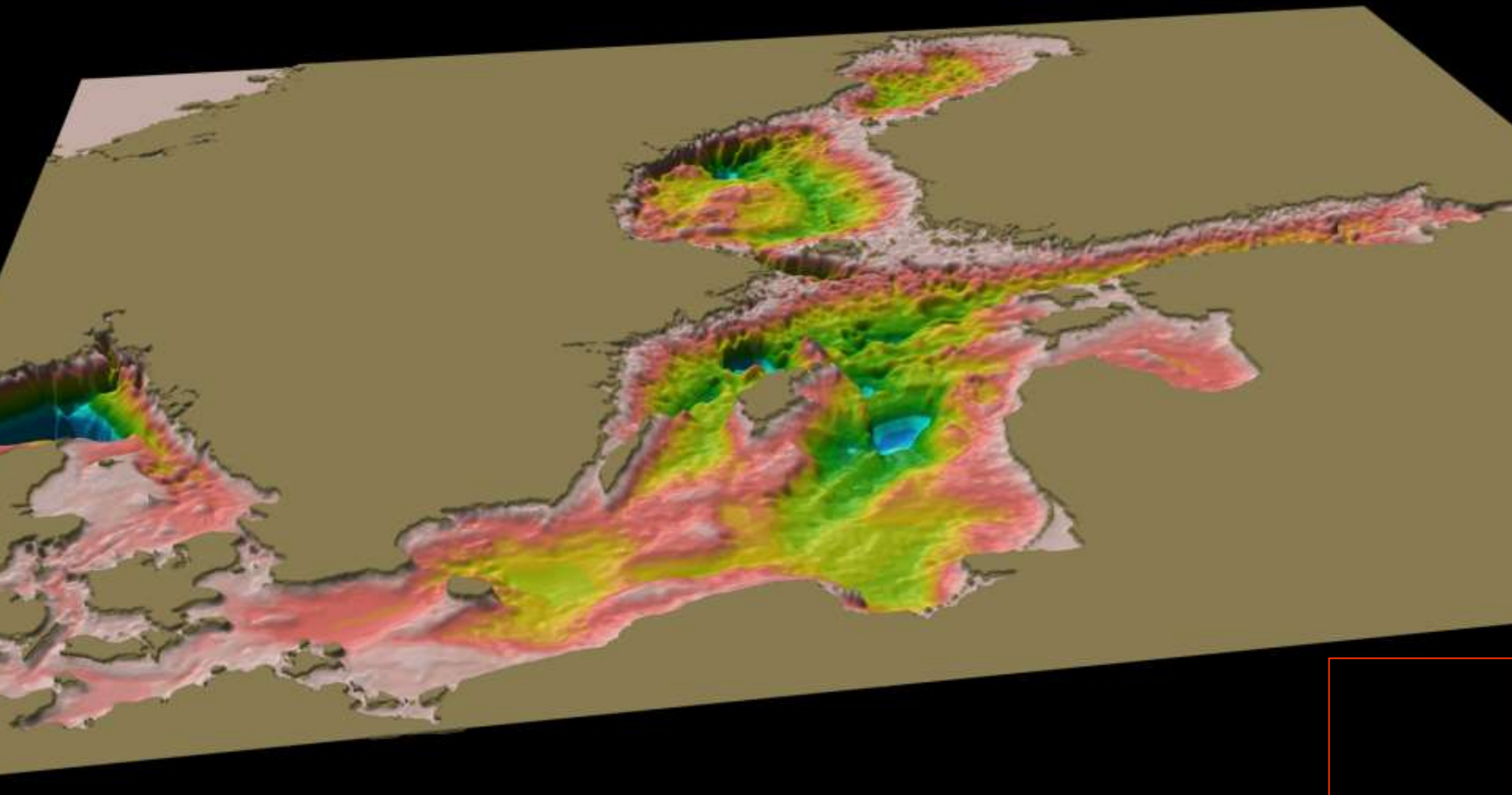
02-Sep-2003 00:00:00

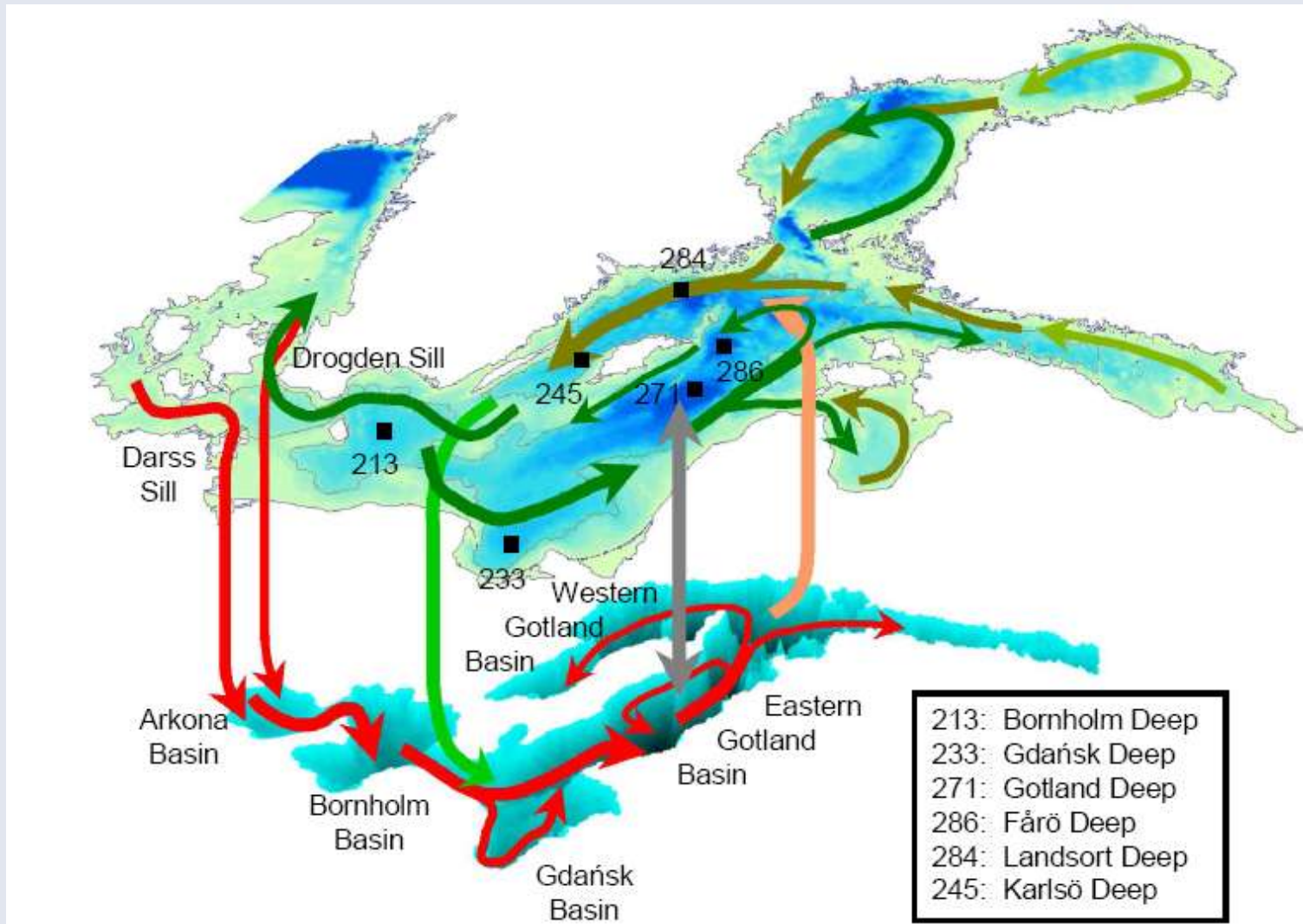




Nomenklatur II

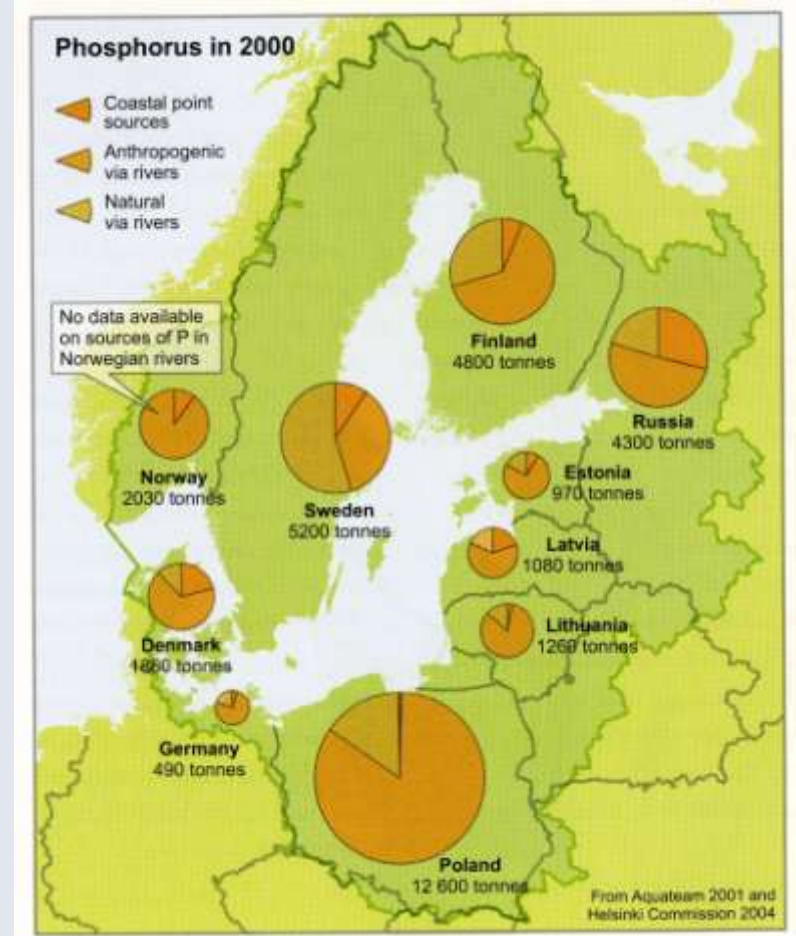
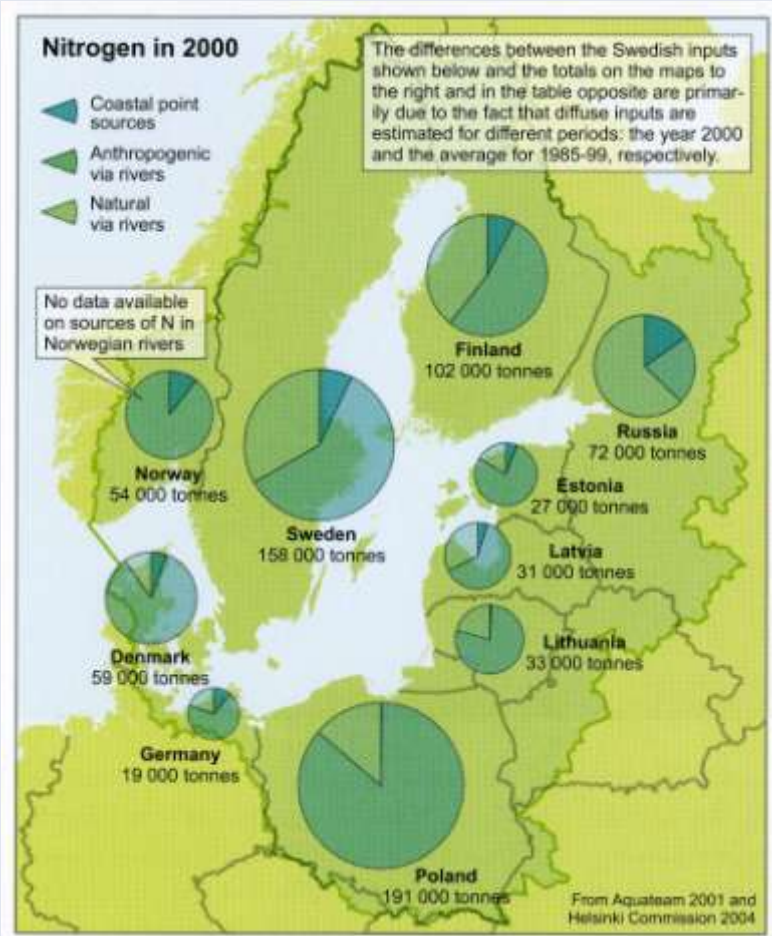




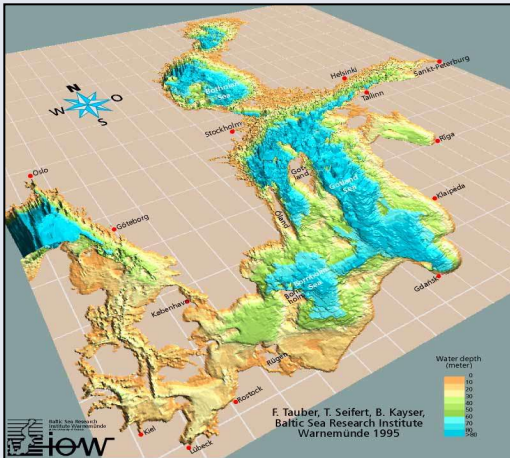


From : Feistel, Nausch, Wasmund, Chapter 10

Nährstoffeintrag und Eutrophierung



Nährstoffeinträge in die Ostsee für das Jahr 1990 (Angaben in kt)



	Phosphor	Stickstoff	org.Substanz (BSB ₇)
Bothnischer Meerbusen	5.4	96	258
Finnischer Meerbusen	11.8	140	286
Rigaer Meerbusen	3.4	85	142
Zentrale Ostsee	> 17.8	209	> 609
Beltsee	4.7	62	> 66
Kattegat	2.7	69	> 39
Ostsee	> 45.8	662	>1400

Aus der Atmosphäre kommt ein zusätzlicher Eintrag von 300 000 t Stickstoff

Quelle: HELCOM Second Pollution Load Compilation 1993

Entwicklung der Nährstoffeinträge in die Ostsee (t/a)

a) Flüsse

	1900	1985
Gesamtphosphor	6 800	51 600
Gesamtstickstoff	150 000	640 500

b) Atmosphäre

Gesamtphosphor	2 800	5 500
Gesamtstickstoff	83 000	322 000

Quelle: Larsson, Elmgren, and Wulff (1985)

Konvention zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee (Helsinki- Konvention) 1974 und 1992

Vertragsparteien: Dänemark

Estland

Europäische Gemeinschaft

Finnland

Deutschland

Lettland

Litauen

Polen

Russland

Schweden

„Die Vertragsparteien sollen einzeln oder gemeinsam alle geeigneten legislativen, administrativen oder andere relevante Maßnahmen ergreifen um die Meeresverschmutzung zu verhindern bzw. zu eliminieren und die Wiederherstellung des ökologischen Gleichgewichtes des Ostseegebietes zu befördern.“ Artikel 3/1

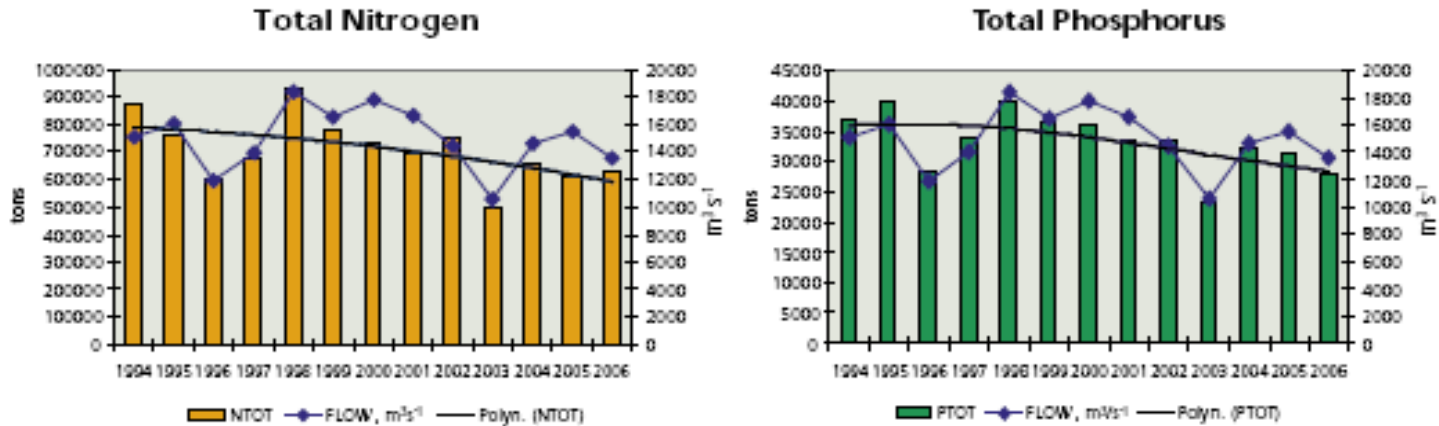
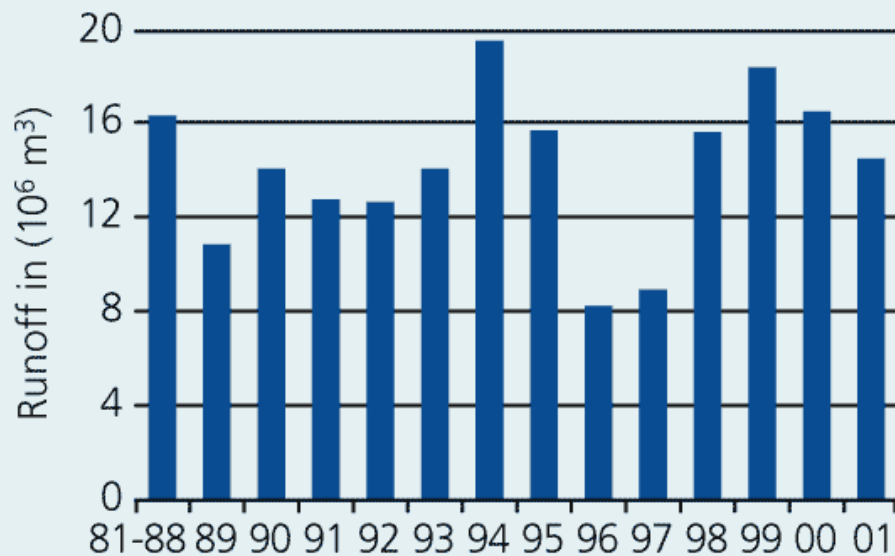
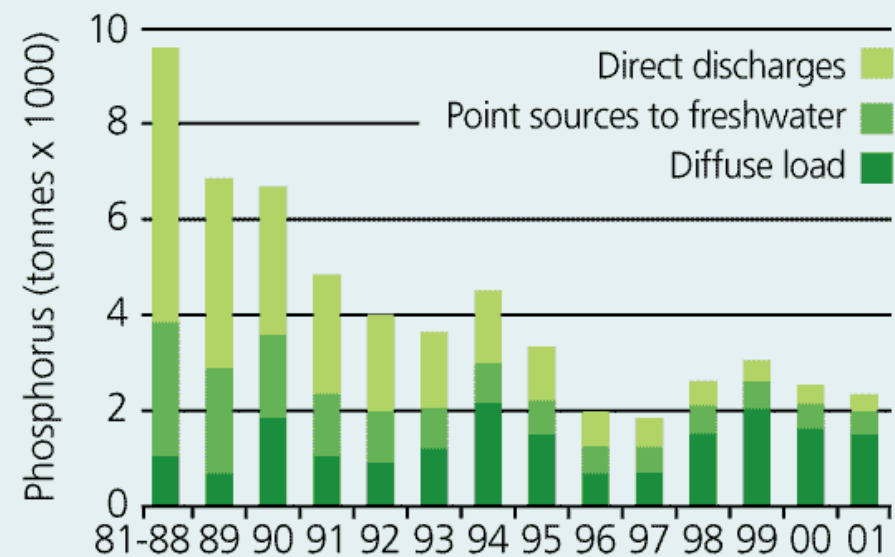
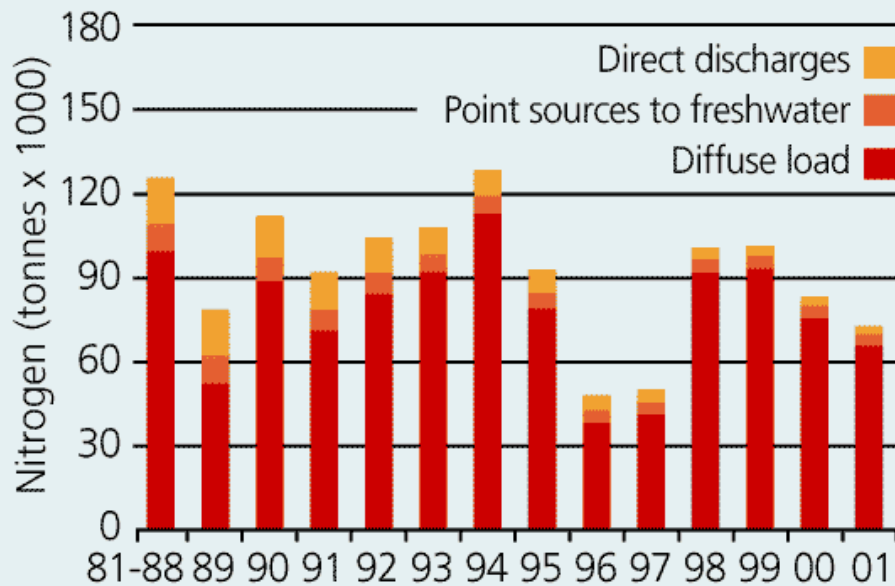


Figure 3.10 Riverine and direct point-source inputs into the Baltic Sea from 1994–2006. NTOT = Total nitrogen; PTOT = Total phosphorus.

In 2001-2006, the average annual total waterborne (riverine, coastal areas, and direct point and diffuse sources) load of nitrogen entering the Baltic Sea amounted to **641 00 t** and of **30 200 t** total phosphorus. compared with the previous six year period 1995-2000 total loads decreased for both nitrogen (-13.7%) and phosphorus (-15.3%).

HELCOM (2009): Eutrophication of the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. – Balt. Sea Environ. Proc. 115B, 1-148.



Aertebjerg, Andersen & Hansen,
Editors (2003):

Nutrients and eutrophication in
Danish marine waters.

Die direkten Folgen

Landtopographie

⇒ Großes Einzugsgebiet ⇒ Frischwasserzufuhr

⇒ Großes Einzugsgebiet ⇒ Großer Nährstoffeintrag

Veränderte Landnutzung

⇒ Eutrophierung

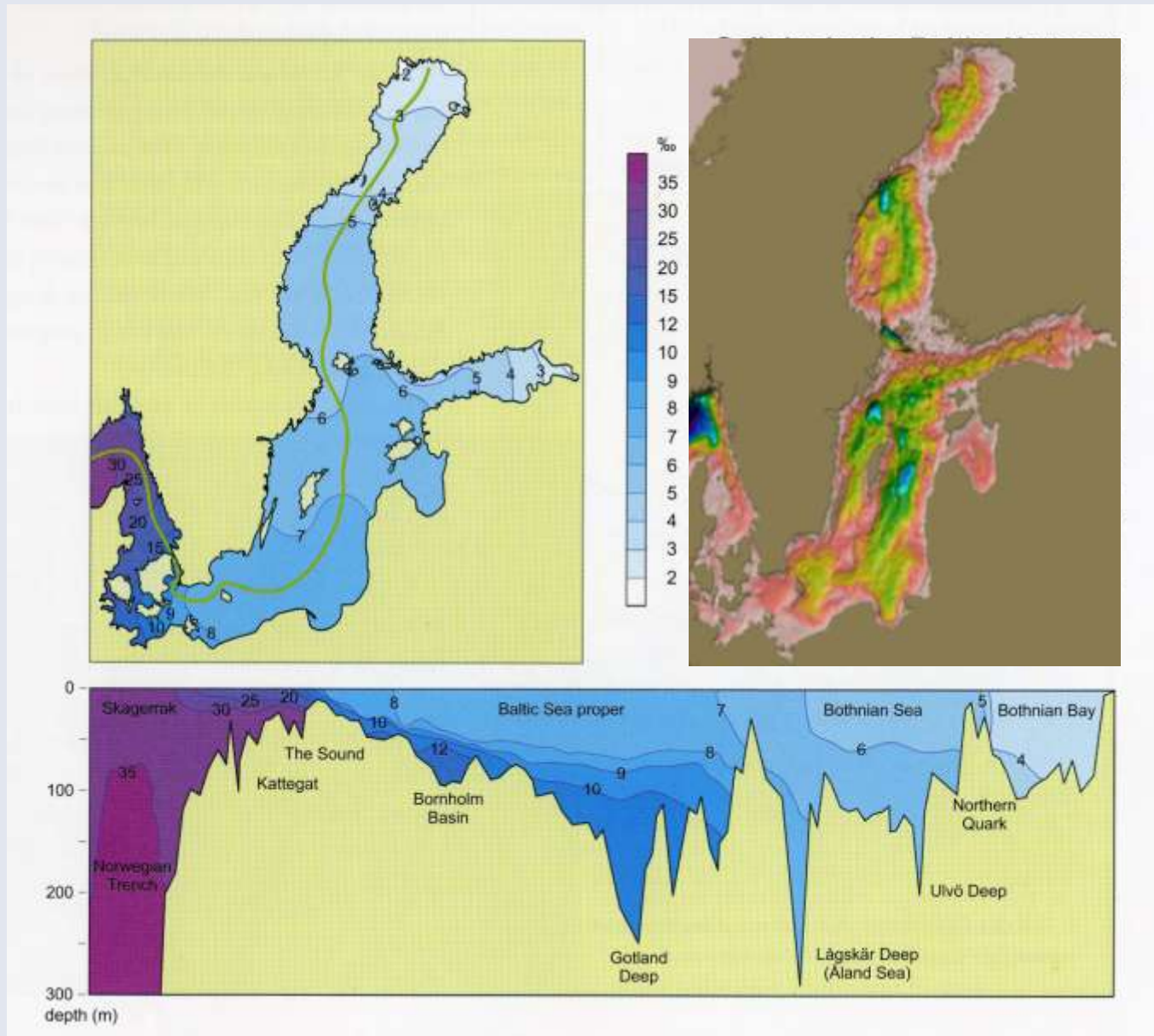
Bathymetrie

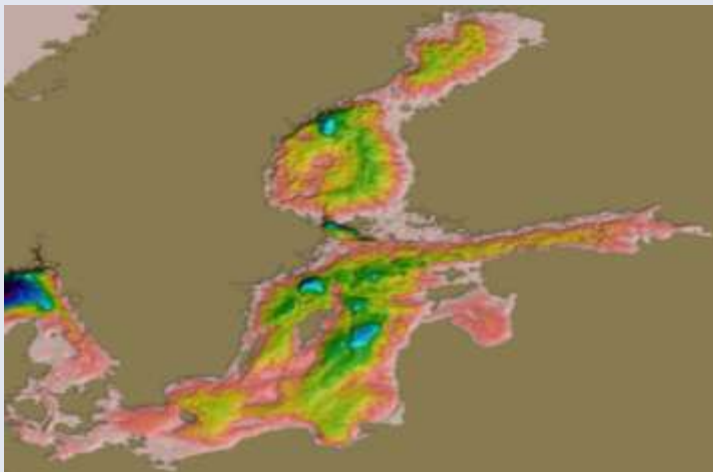
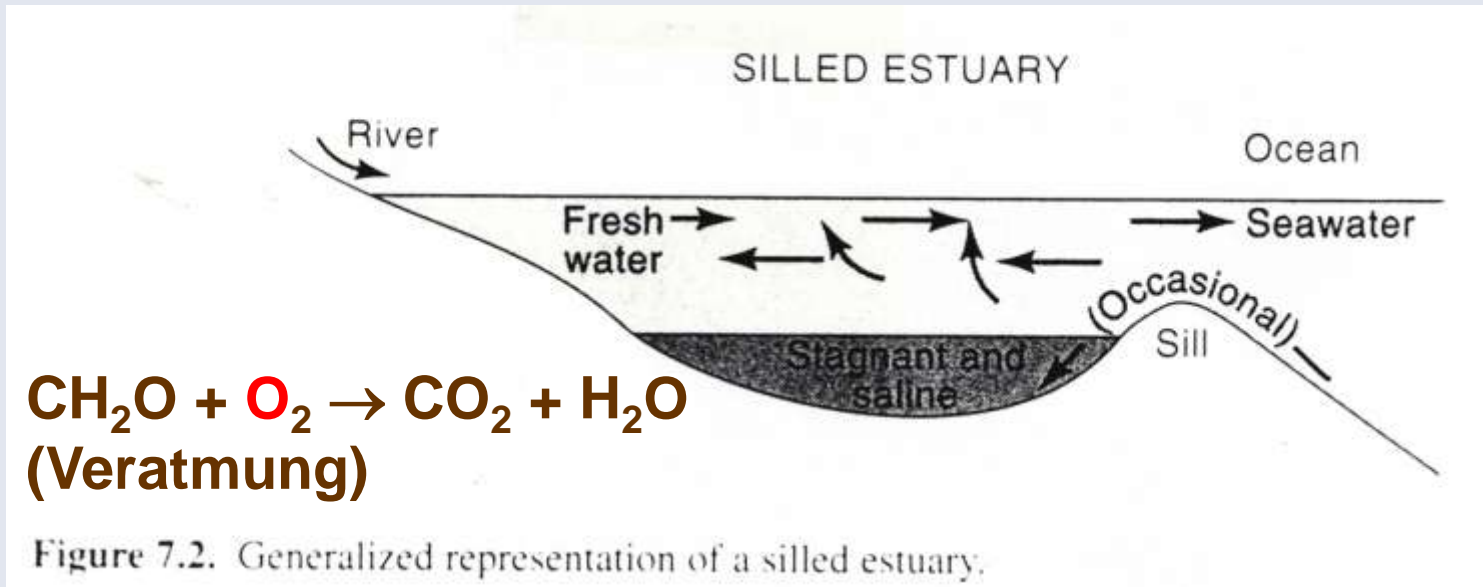
⇒ Schwellen und Becken ⇒ limitierter Salzwassereintrag

⇒ Schwellen und Becken ⇒ temporär stagnierendes
Bodenwasser in einigen Bereichen

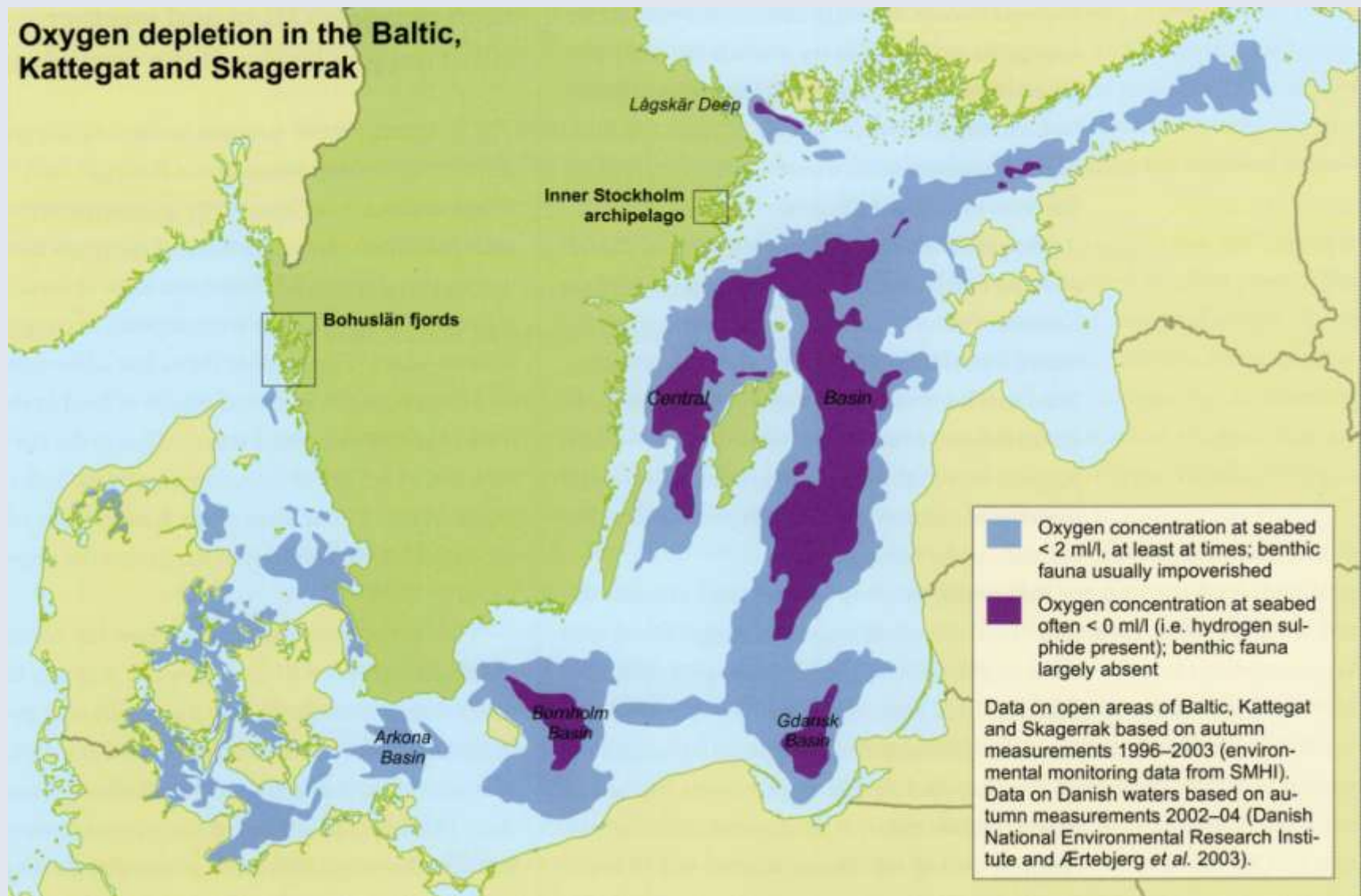
Die indirekten Folgen

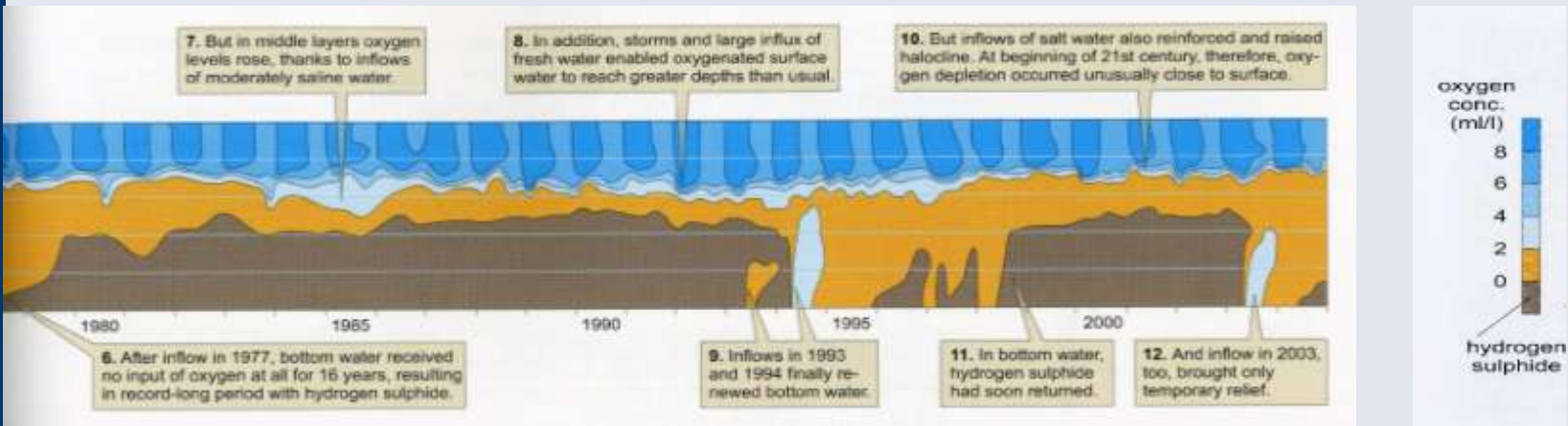
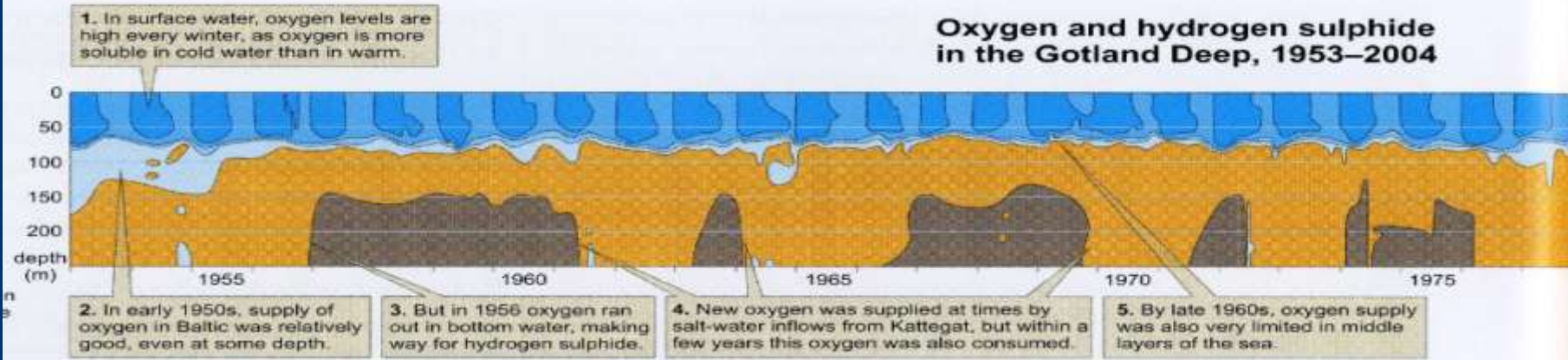
- Salzgehaltsgradient und Schichtung
- Sauerstoffverarmung im Tiefenwasser
- Das Verhältnis von Stickstoff und Phosphor
- Blaualgenblüte im Sommer





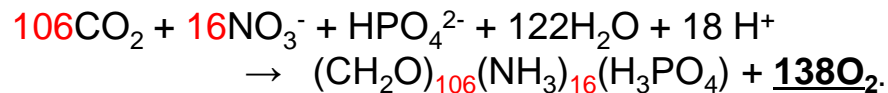
Oxygen depletion in the Baltic, Kattegat and Skagerrak



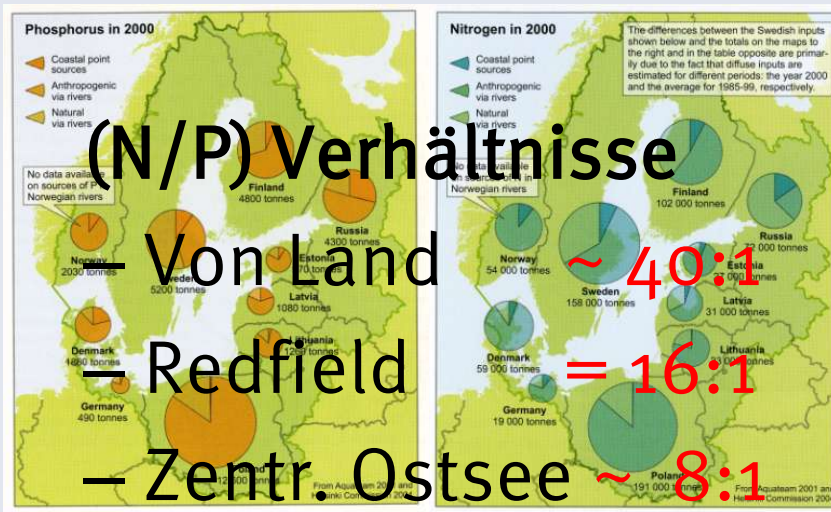
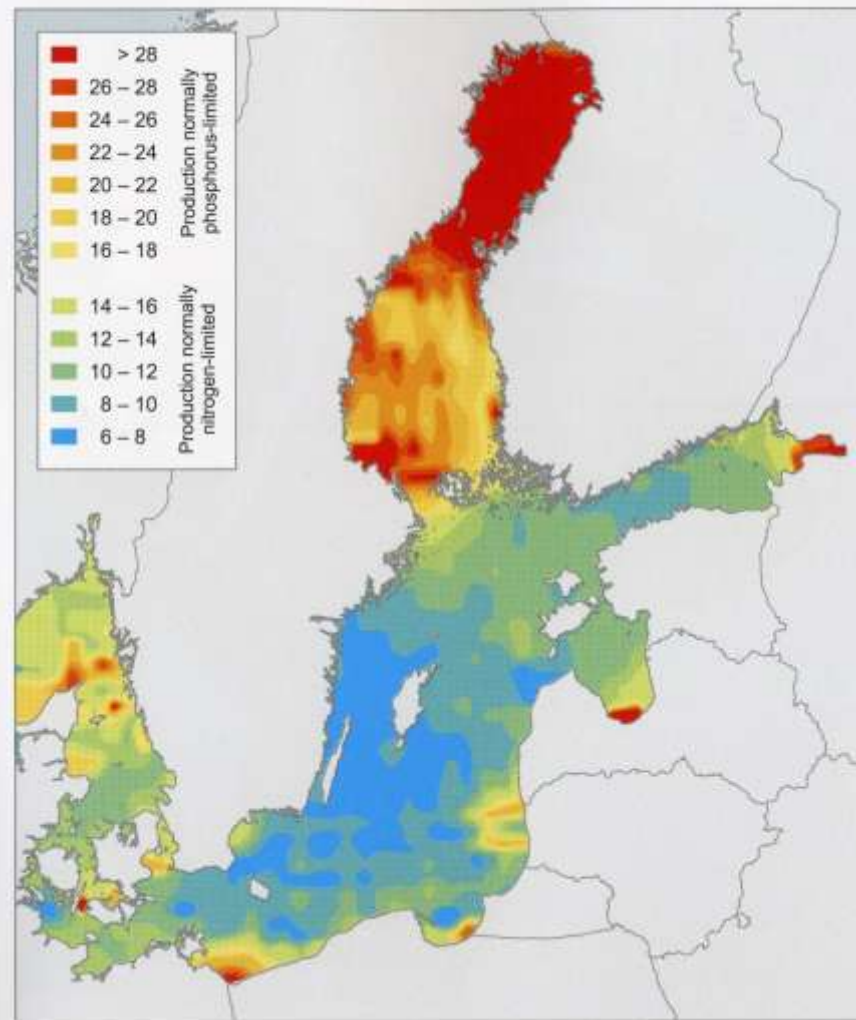


Redfield Ratio (1963):

106 C : 16 N : 1 P



Nitrogen/phosphorus ratio in surface water in winter



Sauerstoffverteilung und die Nährstoffsenken

N-Verlust durch
Denitrification
($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 \uparrow$)

P-Verlust durch
Sediment-
akkumulation

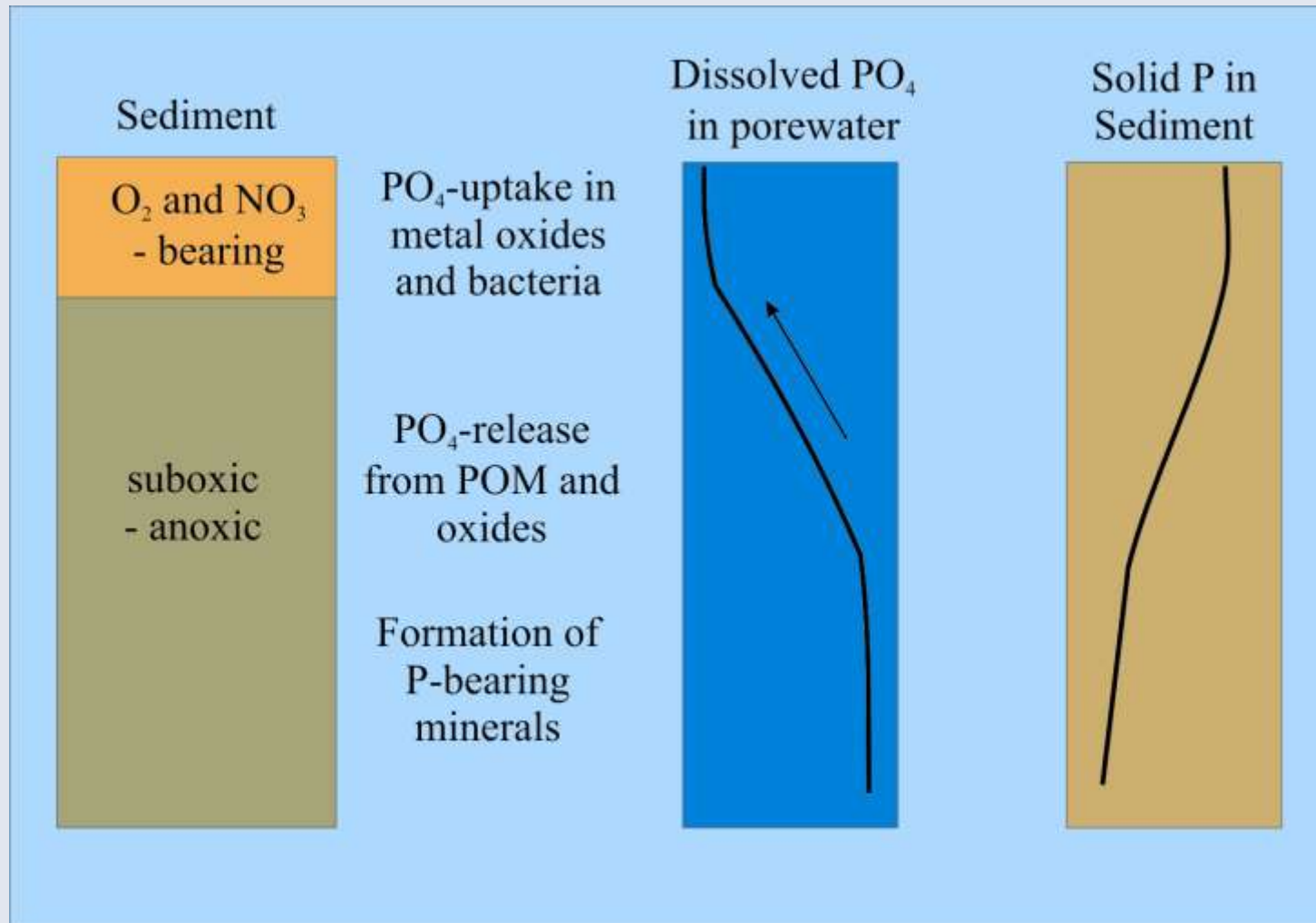
Das **Umkippen eines Sees** bedeutet, dass das [Phosphat](#), als der begrenzende Nährstoff, wegen eines dauerhaften Sauerstoffmangels nicht mehr als Eisen(III)-phosphat am Seeboden abgelegt werden kann, sondern vollständig und düngewirksam im Wasser gelöst bleibt .

Aus Wikipedia

Feedbacks

- Oxygen on Phosphate
- Oxygen on Denitrification

Sedimentary P-cycling

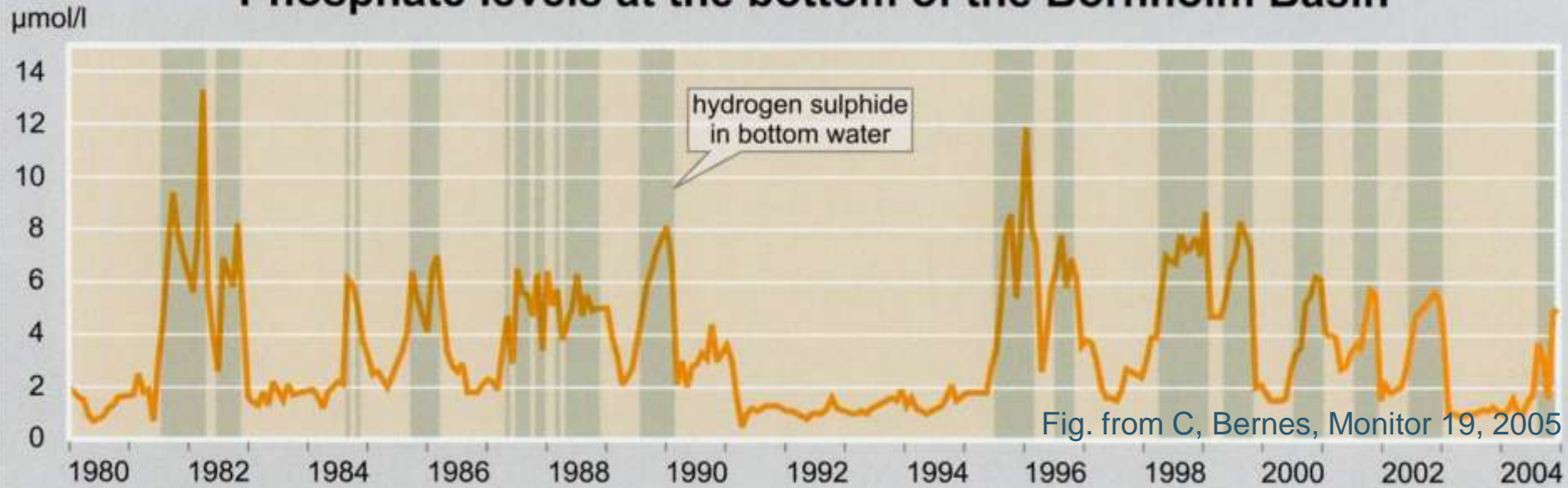


Redox governance of the phosphate reflux

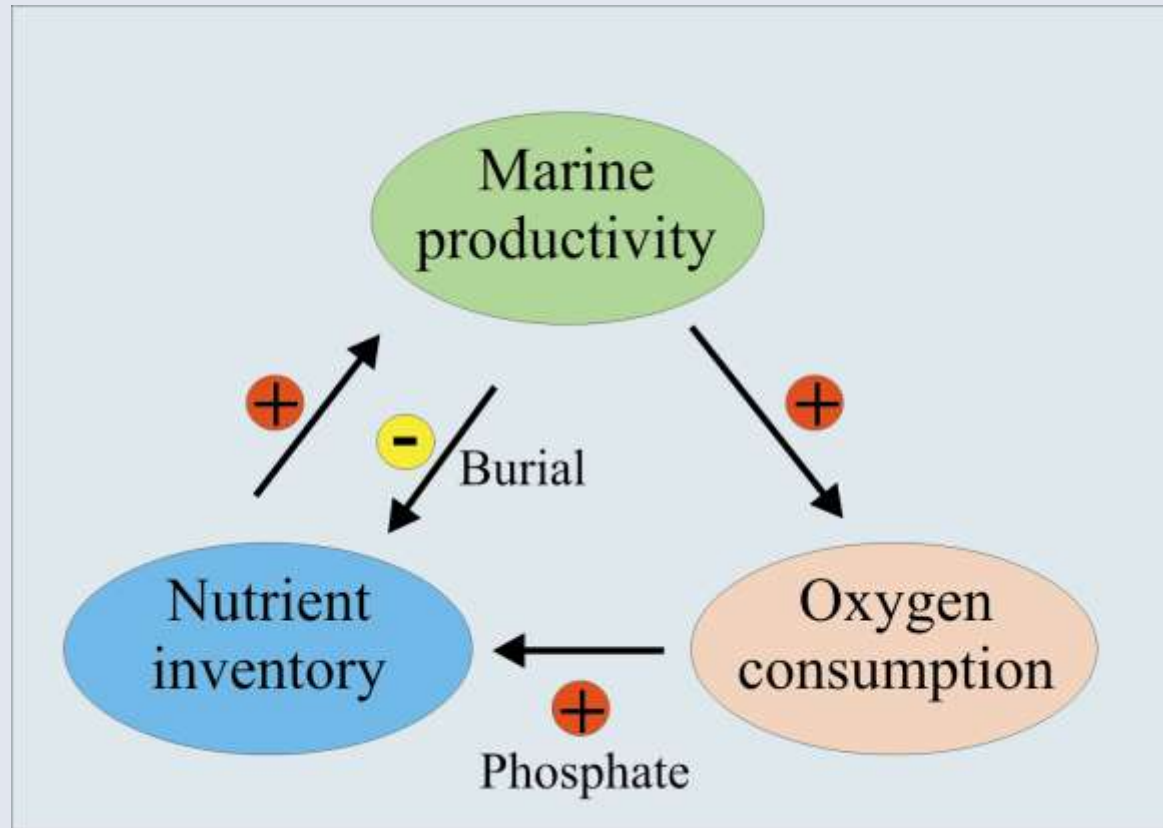
Phosphat fest gebunden in **Fe(III)- Verbindungen**

Phosphat mobilisiert in **Fe (II)-Verbindungen**

Phosphate levels at the bottom of the Bornholm Basin

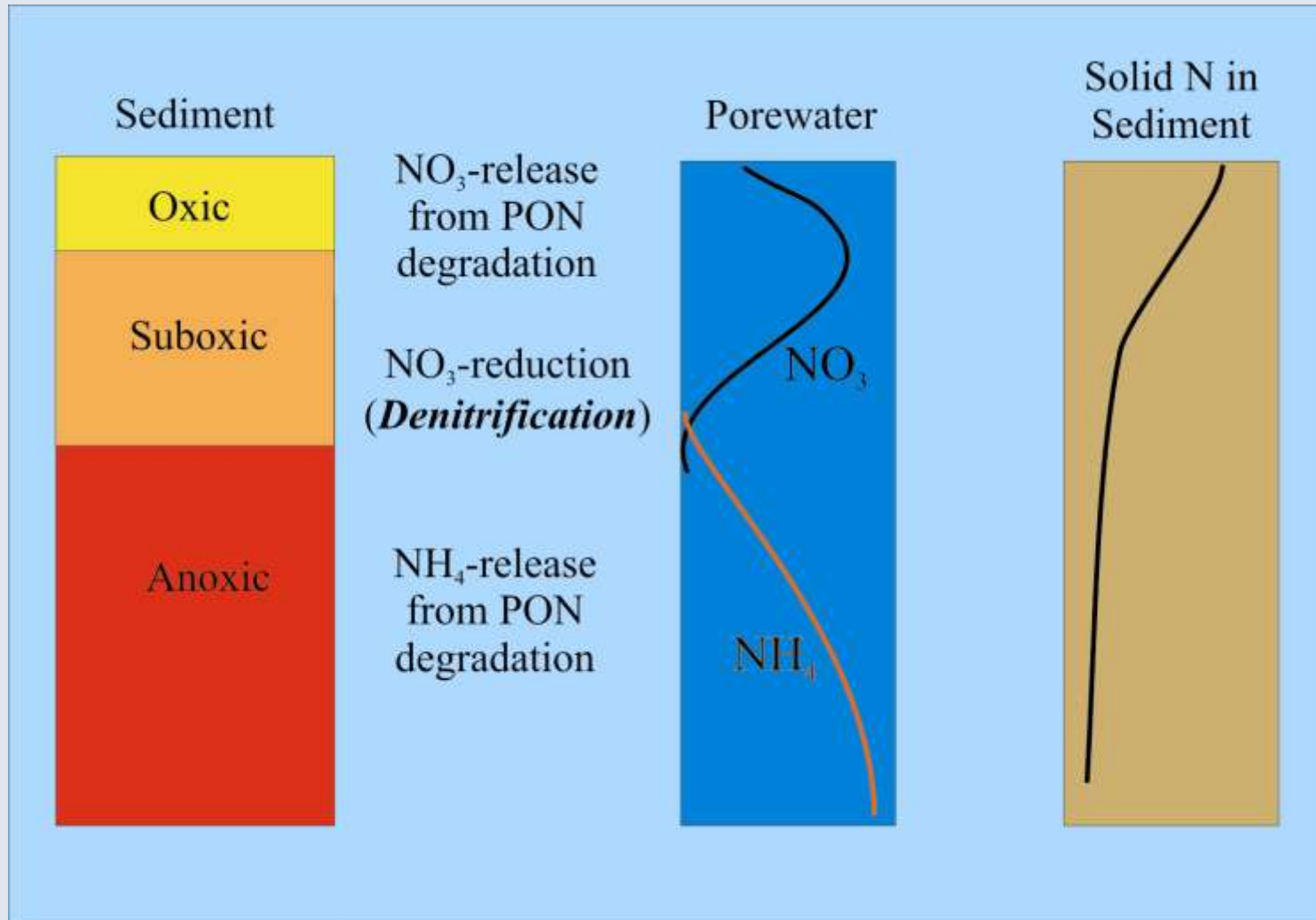


Positive feedback between redox conditions and productivity



=> Redox conditions and marine productivity may change dramatically under P-limitation

Sedimentary N-Cycling



The nitrogen cycle

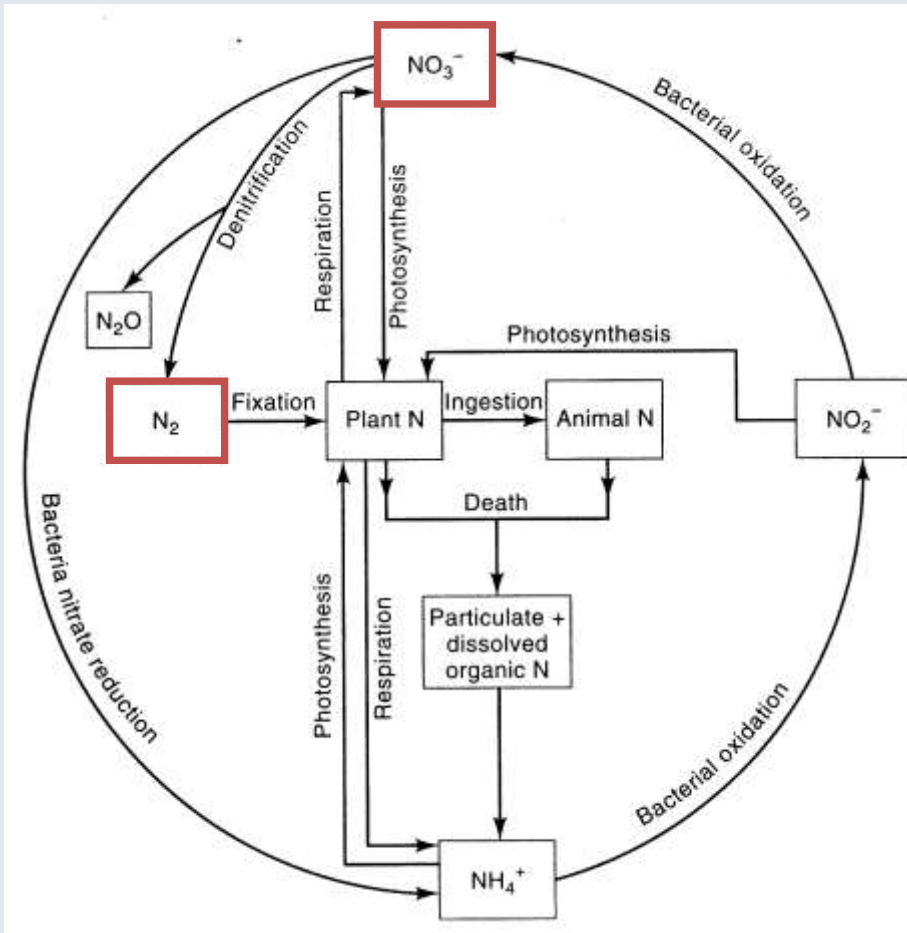
- Denitrification

Denitrification (dissimilatory)
 $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow (N_2O) \rightarrow N_2$

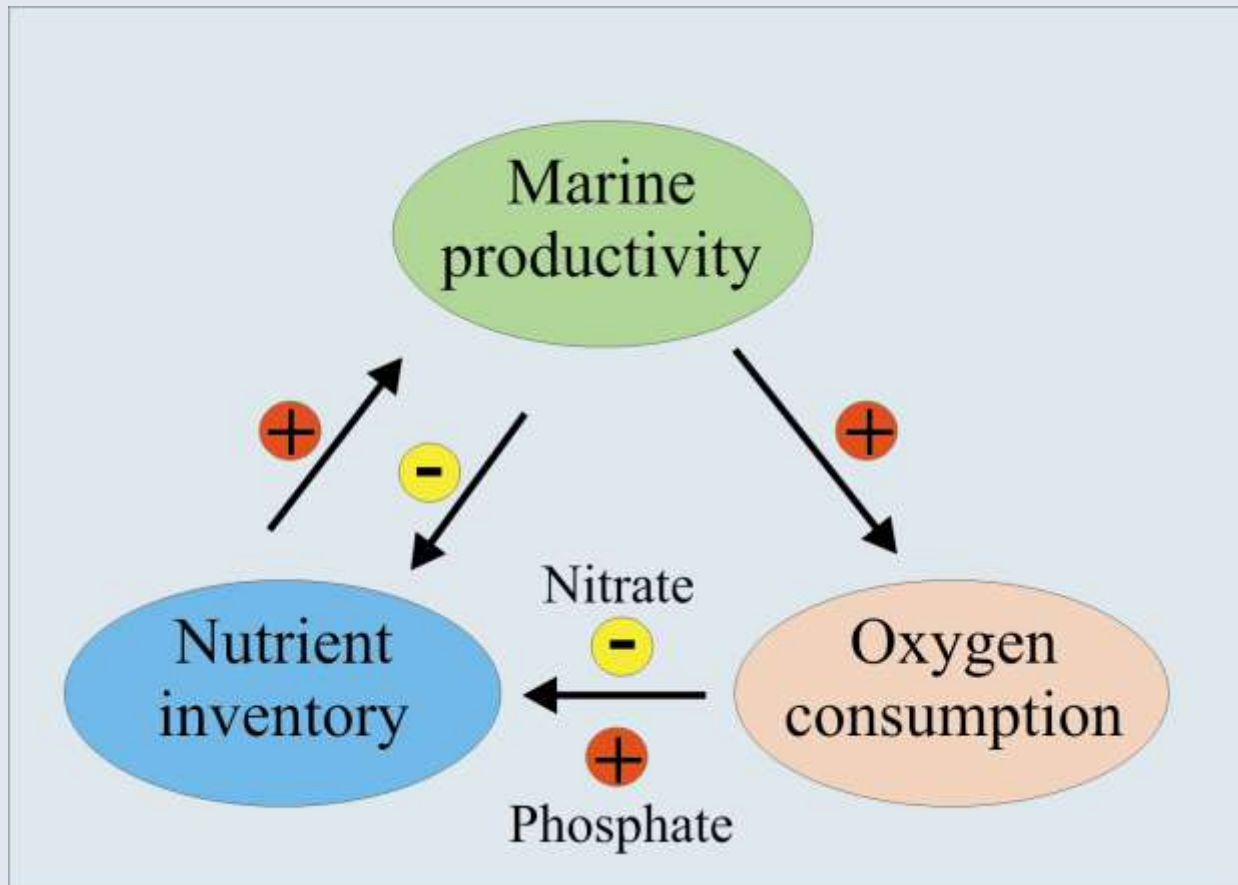
Complete process:
 $4HNO_3 + 5CH_2O \rightarrow 5CO_2 + 7H_2O + 2N_2\uparrow$

Nitrate used as terminal e-acceptor for organic matter degradation by organisms under *suboxic* conditions.

Major sink for N – gas exchange with atmosphere

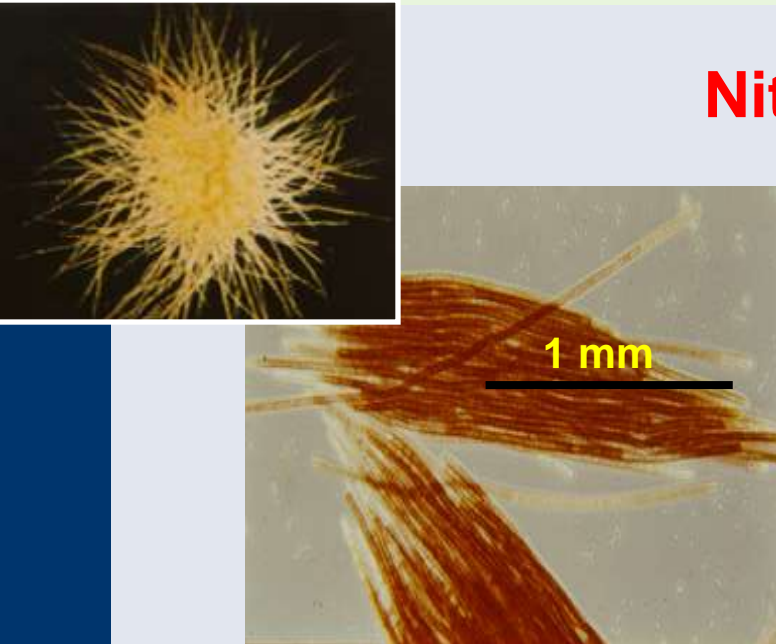


Feedbacks between sedimentary redox conditions and marine productivity



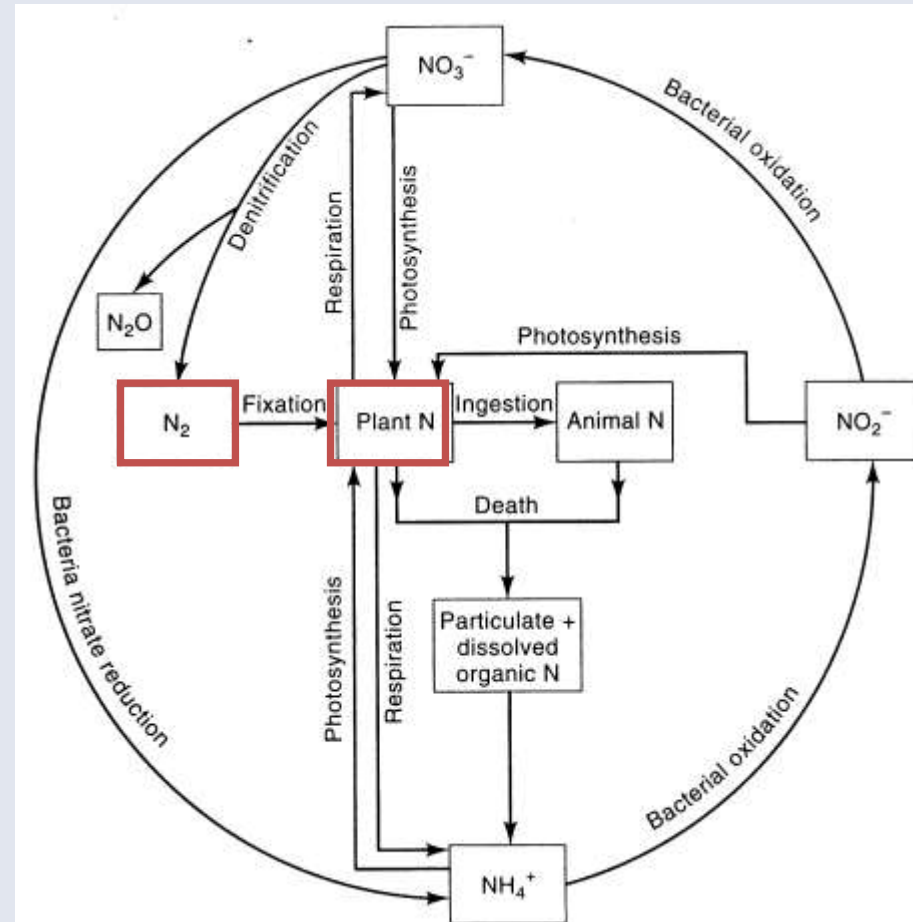
Nitrogen fixation

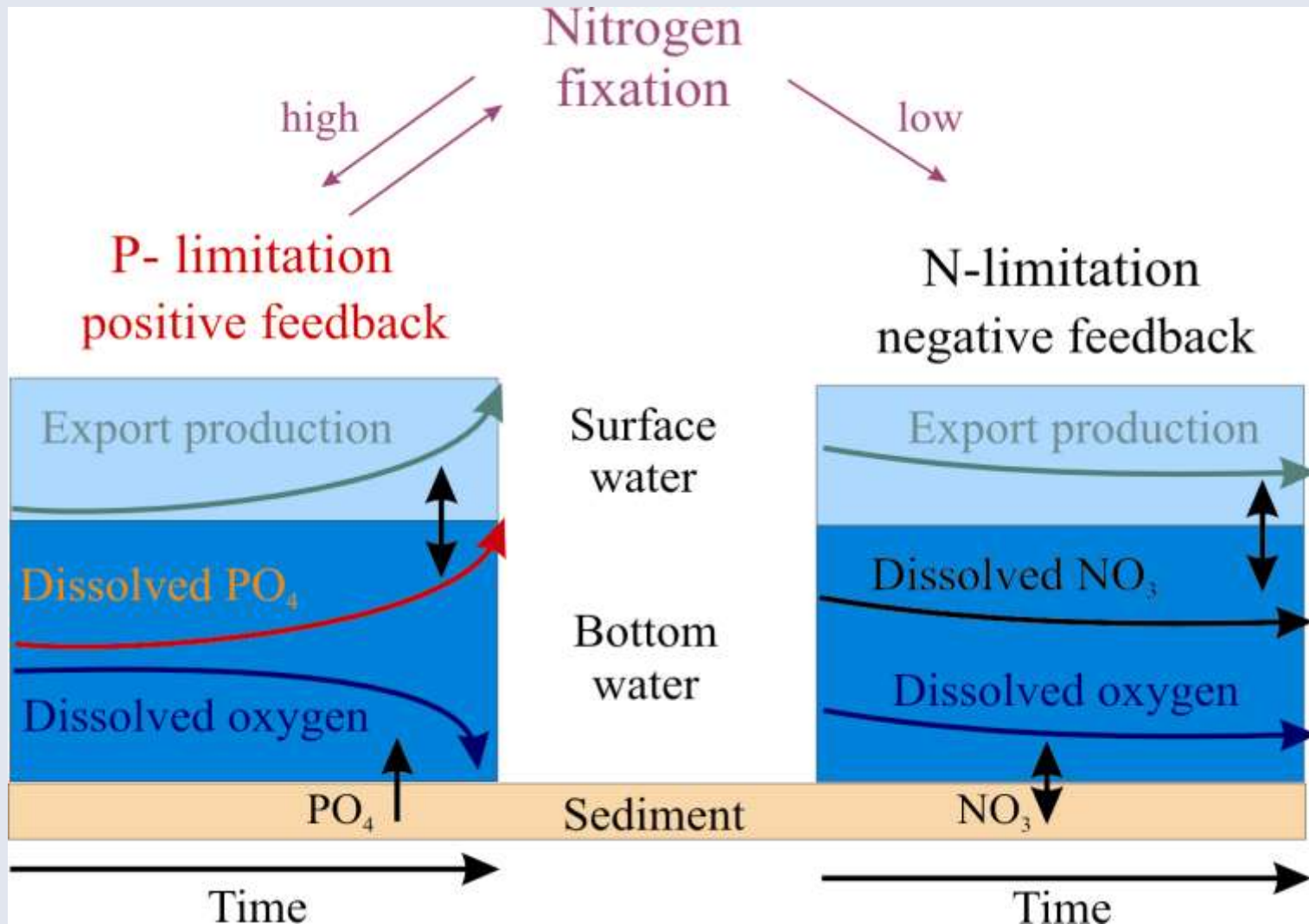
Trichodesmium can provide up to **50% of new production!!!**



Trichodesmium (cyanobacteria)

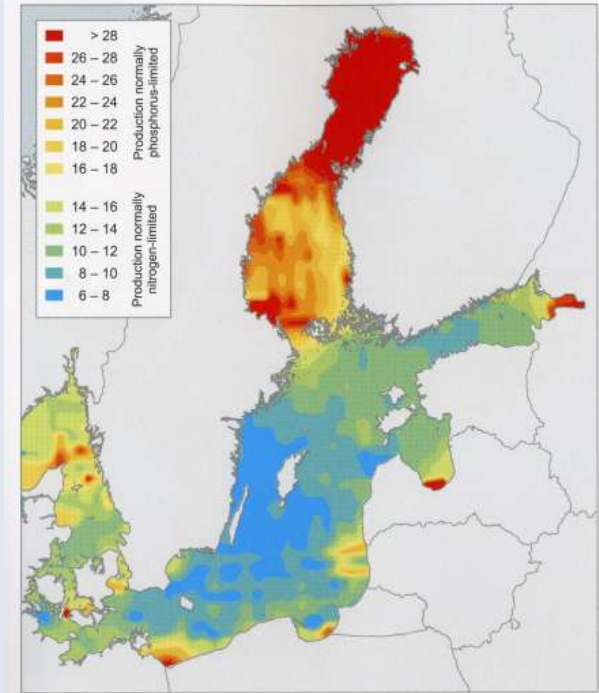
- Cyanobacteria are aquatic and photosynthetic.
- More than 3.5 billion years old
- One of the largest and most important groups of bacteria on earth.



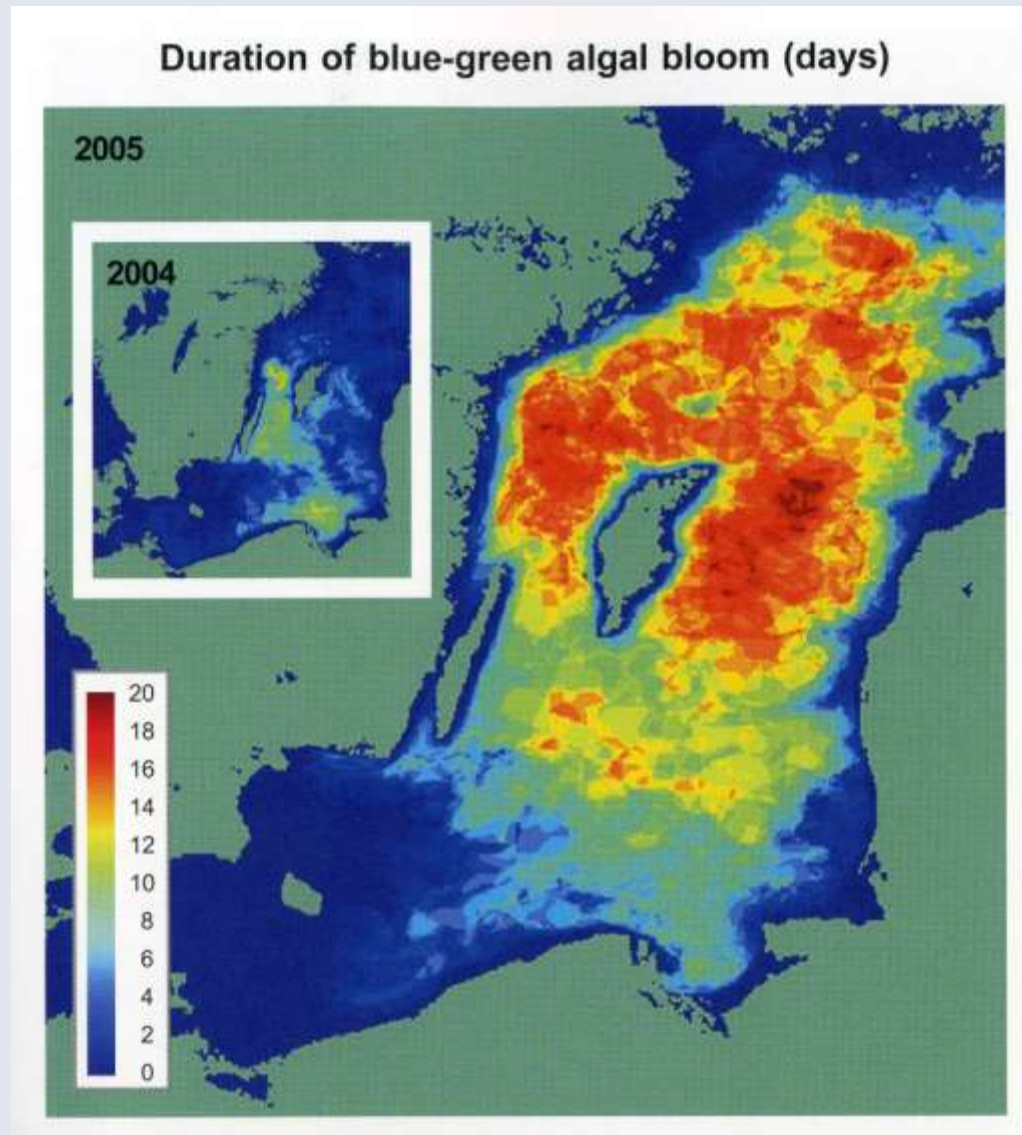




Nitrogen/phosphorus ratio in surface water in winter



N- fixation
Denitrification
($\text{NO}_3^- \leftrightarrow \text{N}_2 \uparrow$)



Die indirekten Folgen

- Salzgehaltsgradient und Schichtung
- **Sauerstoffverarmung** im Tiefenwasser
- Das Verhältnis von Stickstoff und Phosphor verschiebt sich => **N-Defizit**
- **Blualgenblüte** im Sommer

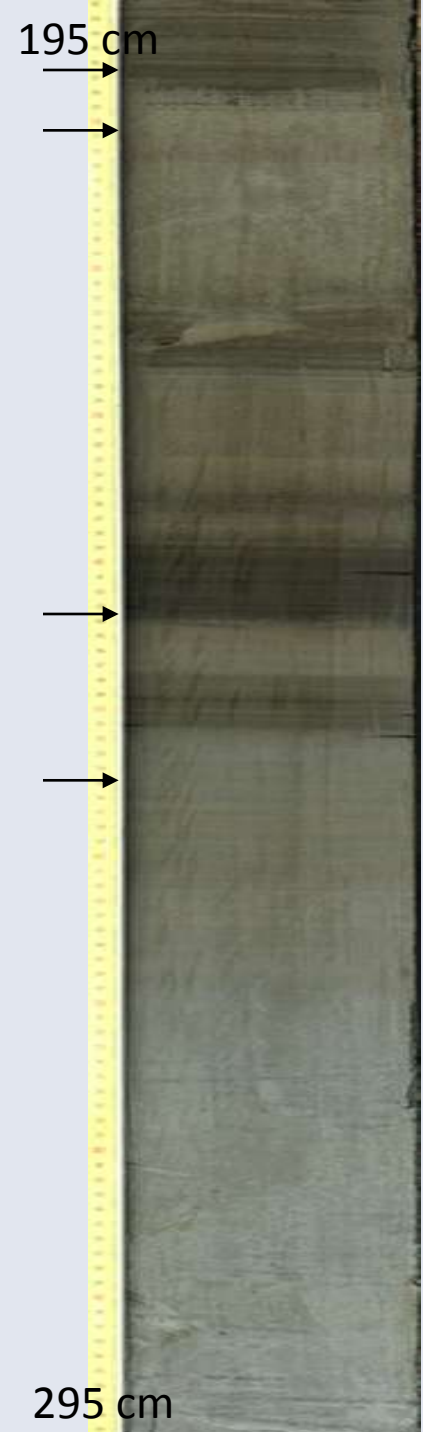
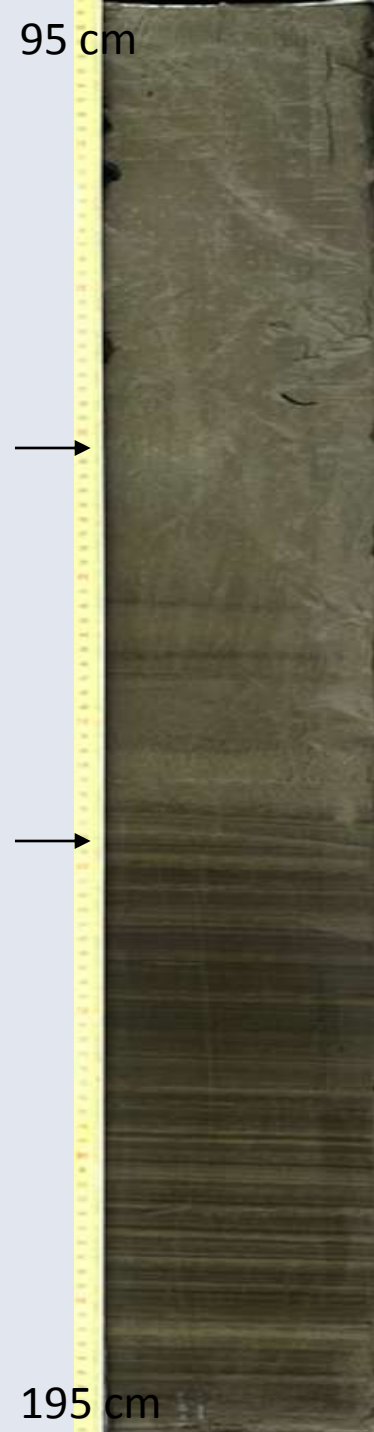
Ist das neu???

Ist es eine Folge menschlicher Einflüsse ???

Piston core and gravity core
Gotland Basin
(56° 55 N; 19° 20 E; WD: 176m)



→
¹⁴C Age Determinations

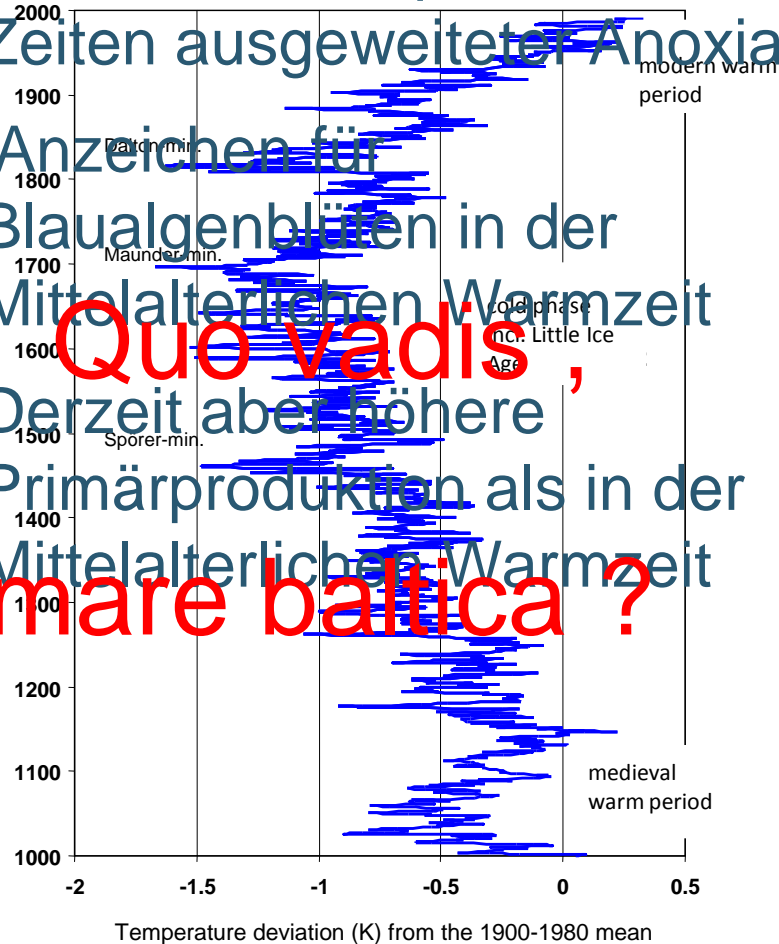


Climate changes in the Northern Hemisphere
After von Storch et al., 2004)

- Höhere Primärproduktion in Zeiten ausgeweiteter Anoxia

- Anzeichen für Blaualgenblüten in der Mittelalterlichen Warmzeit

- Derzeit aber höhere Primärproduktion als in der Mittelalterlichen Warmzeit
- Quo vadis, mare baltica?**



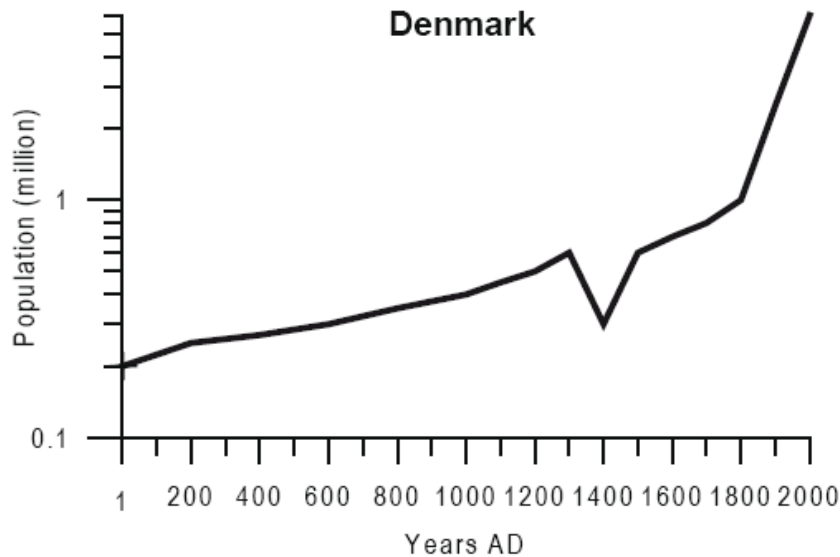
Laminated black sediments (anoxic)

Light grey homogeneous Muddy silt (oxic)

Laminated black sediments (anoxic)

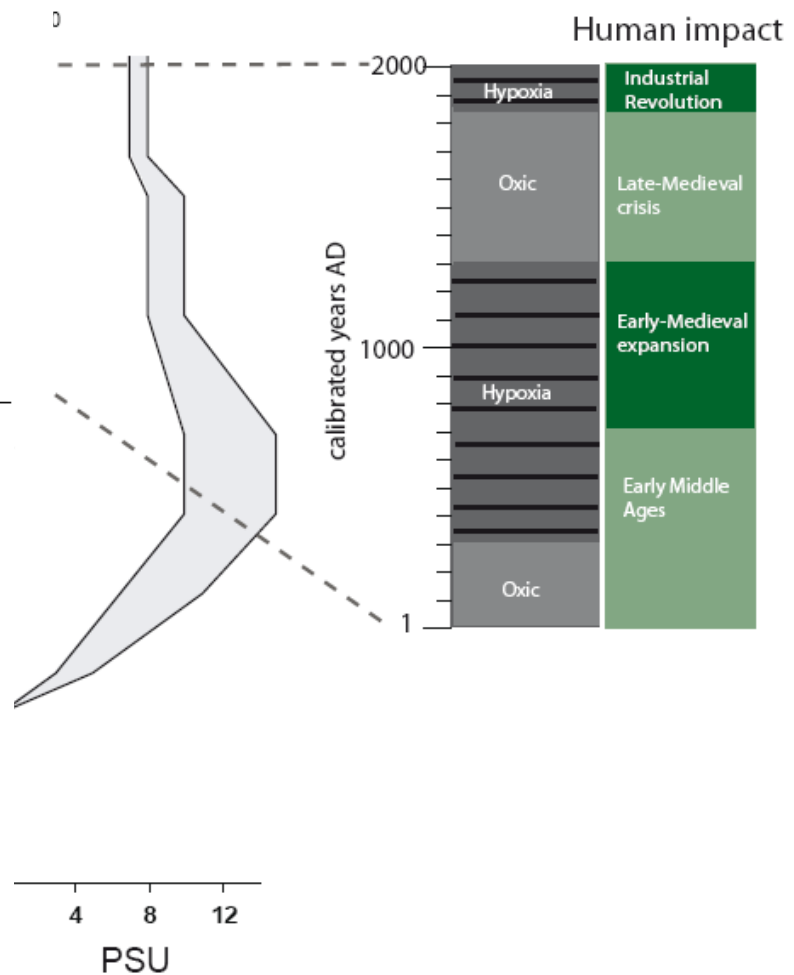
From Leipe et al., 2008, Oceanologia 50, 23-41.

Year AD	Population level	Population estimates Europe	Tentative population estimates Baltic Sea area
400–1000	Stable at a low level	25–30 million	3–3.6 million
1000–1300	Population boom and expansion	From 38 to 79 million (c. 100% increase)	4.6–9.5 million
1300–1350	Stable at a high level	79–80 million	9.6 million
1350–1420	Steep decline	From 80–60 million (c. 25% decline)	9.6–7.2 million
1420–1470	Stable at a low level	60 million	7.2 million
1470–1500	Expansion to AD 1350–1420 values	81 million	9.7 million
1500–1700	Slow expansion gaining momentum in the early 16th century.	From 81 to 120 million	9.7–14.4 million
1700–2005	Population boom and expansion	From 120–731 million (c. 600% increase)	14.4–85 million



Salinity estimates

B)



homogeneous

Gyttja-clay laminated

FeS Clay sulphide banded/stained

Zusammenfassung: Die Ostsee

Die Ostsee ist eines der größten **Brackwassersysteme** der Erde. Der **Salzwassereintrag** ist entlang des Profils der Ostsee durch mehrere Schwellen **gehemmt**. Gleichzeitig fließen über das Einzugsgebiet **große Mengen Süßwasser und Nährstoffe** in die Ostsee, relativ **wenige** davon **aus Deutschland**. Die zentralen Becken der Ostsee neigen dazu, an **Sauerstoff verarmt** zu sein. Durch den vermehrten Eintrag von Nährstoffen wird dieser Effekt noch verstärkt (**Eutrophierung**). Obwohl über die **Zuläufe** eigentlich ein **Überschuß an Stickstoff** in die Ostsee gelangt, ist die zentrale Ostsee an **Stickstoff verarmt** (gegenüber dem anderen wichtigen Nährstoff Phosphor). Dies ist der Grund für die sich ausbreitenden, teilweise toxischen **Blualgenblüten** in der **zentralen Ostsee**.

Disclaimer

**Alles sollte so einfach wie
möglich gemacht werden, aber
nicht einfacher.**

Albert Einstein